

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Айтмұқанбет Нұрай Арманқызы

Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный
исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту


На тему: «Автоматизация технологического процесса горнорудной
промышленности.»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Айтмұқанбет Н. А.

Рецензент
магистр РЭТ

 Сихимбаев А. С.

«13» 06 2023 г.

Научный руководитель
PhD, associate professor

 Омирбекова Ж. Ж.

«16» 06 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Айтмұқанбет Н.А.

Тема: «Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности»

Утверждена приказом Б. Жаутикова № 408-П/Ө от «23» ноября 2022 г.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту: данные входных и выходных сигналов агрегата измельчения.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) технологический процесс измельчения руды;
- б) разработка функциональной схемы процессов измельчения;
- в) анализ и синтез систем автоматического регулирования процессов измельчения;
- г) разработка программного обеспечения.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации; функциональная схема САР; структурная схема САУ.

Рекомендуемая основная литература:

1 Воронов А. А. Теория управления. – Москва: Наука, 2019. – 495 с.

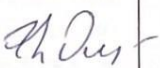
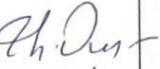

2 Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П., Найденев А.П. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии // Цветные металлы. 2005.-№ 10. – С. 54- 59.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

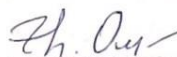
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Технологический процесс измельчения	15 марта 2023 г.	
Технологический раздел Анализ и синтез системы регулирования процесса измельчения	15 апреля 2023 г.	
Раздел специальной части Разработка программного обеспечения	15 мая 2023 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с
указанием относящихся к ним разделов проекта

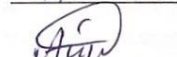
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата	Подпись
Технологический раздел	Омирбекова Ж. Ж PhD, associate professor	15.03.23	
Раздел расчётной части	Омирбекова Ж. Ж PhD, associate professor	15.04.23	
Нормоконтролер	Э.Ж. Жанабаева маг. техн. наук, ассистент	12.06.23	

Научный руководитель



Омирбекова Ж. Ж.

Задание принял к исполнению обучающийся



Айтмұқанбет Н. А.

Дата

«15» апреля 2023 г.

АНДАТПА

Дипломдық жобада тау-кен өнеркәсібі процестерін басқарудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу талданады. "Ақтоғай" тау-кен байыту комбинатының өнеркәсіптегі ұсақтау жабдығы АТС көмегімен мәселелерді шешуді зерттеу.

Жобаның бірінші бөлімі тау-кен байыту өнеркәсібін, ұнтақтау жабдықтарын және олардың процестерін, сондай-ақ ұнтақтау процесінің функционалдық және құрылымдық схемасын қысқаша сипаттайды. Екінші бөлімде ұнтақтау қондырғылары үшін қойылған мәселелердің есептеулері талданады. Алынған нәтижелер барысында басқару реттегіштері үшін Matlab ортасында көрсетілген модельдеу нәтижелері бойынша салыстырмалы талдау жасалды, атап айтқанда контроллермен жүйенің сапа бағалары.

АННОТАЦИЯ

В дипломном проекте разбирается разработка автоматизированной системы управления процессами горнорудной промышленности. Исследовать решение задач с помощью САР оборудование измельчения на промышленности горно-обогатительного комбината «Актогай».

Первая часть проекта кратко описывает горно-обогатительную промышленность, оборудования измельчения и их процессы, а также функциональную и структурную схему процесса измельчения. Во второй части анализируются расчеты поставленных задач для агрегатов измельчения. В ходе полученных итогов сделан сравнительный анализ по показанным результатам моделирования в среде Matlab для регуляторов управления, а именно оценки качества системы с регулятором.

ANNOTATION

The diploma project deals with the development of an automated process management system for the mining industry. To investigate the solution of problems with the help of ATS grinding equipment in the industry of the Aktogay mining and processing plant.

The first part of the project briefly describes the mining and processing industry, grinding equipment and their processes, as well as the functional and structural scheme of the grinding process. In the second part, the calculations of the tasks set for grinding units are analyzed. In the course of the results obtained, a comparative analysis was made based on the simulation results shown in the Matlab environment for control controllers, the quality estimates of the system with the controller.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Краткое описание об Актогайском ГОК	8
1.2 Технологический процесс измельчения руды	8
1.3 Описание оборудования процесса измельчения	14
1.4 Функциональная схема мельницы измельчения руды	23
1.5 Содержательная постановка задачи управления	28
2 Специальная часть	29
2.1 Математическая постановка задачи управления	29
2.2 Составление математической модели задачи управления	29
2.3 Анализ и синтез регулятора по эмпирическим методам	35
2.4 Разработка программного обеспечения	43
Заключение	48
Список использованной литературы	49
Приложение А	50

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стремительно разрабатываются различные современные технологии, также и автоматизации систем управления во многих областях промышленных производств. Очень сложно представить какое-либо промышленное и специализированное оборудование без участия автоматического управления, где применяют микроконтроллеры, регулирующие устройства и другие устройства автоматизации.

Следовательно, исследование автоматизации технологического процесса горнорудной промышленности актуально на сегодняшний день, поэтому крайне важно постоянно развивать и улучшать производство металлов с помощью автоматического управления. Самыми важными этапами промышленности для изготовления качественного продукта является добыча и переработка руды. В отрасли обогащения самым востребованным оборудованием являются шаровые мельницы измельчения руды.

В данной дипломной работе будет рассматриваться технологический процесс горно-обогатительного комбината (ГОК) “Актогай”, в котором добывают и разрабатывают медную руду.

1 Технологическая часть

1.1 Краткое описание об Актогайском ГОК

KAZ Minerals – одна из крупнейших компаний в производстве меди, специализирующаяся на расширении разработок медных месторождений и запуске новых горных производств в Казахстане и других странах СНГ.

Актогай – это крупный медный рудник открытого типа, который начал производить катодную медь из оксидной руды в декабре 2015 года, а медь в концентрате из сульфидной руды в феврале 2017 года. В октябре 2021 года Президент Республики Казахстан открыл вторую сульфидную обогатительную фабрику.

Рудник Актогай имеет примерно 25-летний срок эксплуатации (включая расширение проекта), при содержании меди в среднем 0,27 процента(оксидная руда) и 0,34 процента(сульфидная руда). Ежегодная мощность Актогайской площадки для переработки сульфидной руды составляет 50 миллионов тонн с двумя обогатительными фабриками. Рудник Актогай находится в конкурентоспособном положении на мировой кривой затрат, и ожидается, что он будет производить в среднем 170 тысяч тонн меди в год с 2022 по 2027 год.

Группа KAZ Minerals включает в свой состав следующие объекты: рудники Бозшаколь и Актогай, расположенные в открытом доступе в Павлодарской области и Восточно-Казахстанской области соответственно, а также три подземных рудника на территории Восточного Казахстана и золотомедный рудник Бозымчак, расположенный в Кыргызстане и также имеющий открытый тип разработки.

1.2 Технологический процесс измельчения руды

Таблица 1 – Ключевые этапы технологии горнорудного производства

№	Этапы производства
1	Подача руды
2	Измельчение руды
3	Классификация
4	Флотация
5	Обезвоживание
6	Финальная обработка

Автоматизация технологического процесса горнодобывающего производства “Актогай” считается важнейшим направлением развития отрасли, позволяющим повысить результативность производственных процессов, снизить затраты на производство и увеличить безопасность труда. Одним из ключевых элементов автоматизации является внедрение систем управления

производством на основе современных информационных технологий. Внедрение таких систем позволяет управлять всеми этапами технологического процесса, начиная от добычи руды и заканчивая производством конечной продукции (рисунок 1). Технологический процесс горнорудной промышленности является нелегким процессом ведь он состоит из нескольких стадий (таблица 1).

Начальным этапом считается подача руды. Медь из специальных бункеров попадает в мельницу. В мельнице происходит первая обработка руды, где она измельчается до такого размера, которая будет пригодна для дальнейшего процесса. На этом этапе часто используют щековые и конусные дробилки. Руда может дополнительно делиться на мелкую и крупную фракции.

Второй этап – измельчение меди. Дробленая медь попадает на мельницу, где ее размер уменьшается до нужных размеров для дальнейшей переработки. Внутри барабанной мельницы находится руда, которая непрерывно подается, там измельчаемый продукт попадая под усилие дробящих тел, измельчается ударом, истиранием и раздавливанием. Руда с мельницы постоянно разгружается. Измельчается руда в шаровых или стержневых мельницах. Обычно одной ступени измельчения недостаточно, поэтому руда может пройти несколько уровней измельчения, где руда измельчается до определенных размеров.

В третьем этапе руда проходит классификацию по размеру частиц. Классификация руды не происходит без специальных сит и гидроциклонов, в которых частицы делятся по размеру, где крупные частицы, песковая фракция, отправляются на повторный процесс, а мелкие частицы, готовый продукт измельчения, на следующие этапы обработки. Для улучшения и эффективности процесса классифицирования в классификатор попадает вода.

Четвертый этап – флотация, где пульпа с помощью специальных реагентов делится на ценные и нежелательные компоненты.

Пятый этап – обезвоживание. Продукт после флотации содержит большое количество воды, поэтому нужно избавиться от ненужного объема жидкости. Для этого нужно использовать центрифуги или фильтры-пресса.

Шестой этап – последняя обработка. Полученный после обезвоживания продукт может отправиться на дальнейшую обработку, либо использоваться в промышленности. Далее возможно выполнение некоторых других операций, таких как сортировка и упаковка готовой продукции.

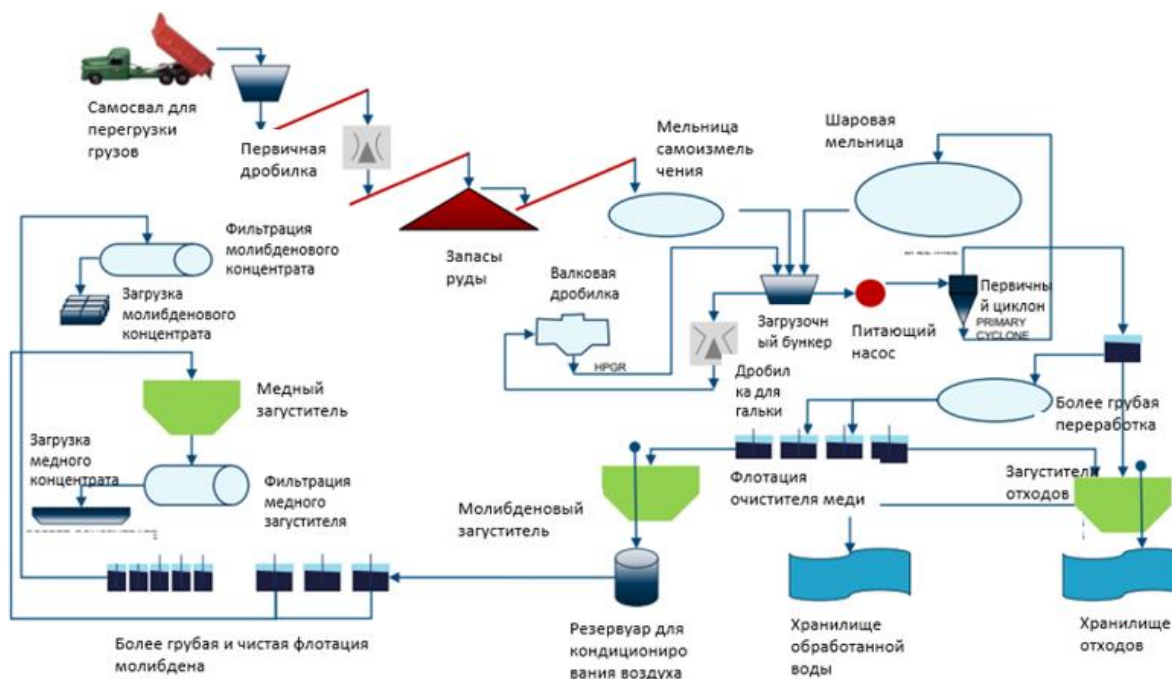


Рисунок 1 – Технологическая схема медной промышленности

Технический процесс подготовки флотационного сырья включает в себя переизмельчение в шаровой барабанной мельнице технологических хвостов производства меди (содержащих медь, песок и другие минералы), поступающих по сети гидравлического транспорта с рудника и обогатительной фабрики (ГОК) в виде пульповой смеси (твердая масса в воде).

Процесс повторного измельчения относится к подготовительной технической работе перед последующим процессом флотации. В процессе дробления и измельчения происходит высвобождение минералов путем разрушения минеральных и горных агрегатов.

В результате возникает смесь, в которой содержатся частицы разных размеров и состава. Эта смесь разделяется на фракции путем классификации и грохочения.

Хвосты ГОК, которые подвергаются повторной обработке, отличаются составом минералов: они содержат различные пропорции основных минералов и примесей. Минералы, присутствующие в составе хвостов, также имеют различные физико-механические свойства, такие как прочность, сжатие, растяжение, упругость и вязкость. Содержание минералов в хвостах относится к соотношению между основными минералами и примесями.

Также стоит упомянуть о гранулометрическом составе (содержании разных фракций по размеру) хвостов ГОК. Давайте рассмотрим процесс измельчения рудного сырья в установке мокрого помола, которая работает непрерывно. В этой установке материал, который нужно измельчить, непрерывно подается в барабан и перемещается вдоль его оси.

Измельчение материала происходит за счет ударов, истирания и сжатия под действием мелющих тел. Измельченный продукт выгружается непрерывно.

Выходной материал от дробилки поступает в классификатор, где доля песка обозначается как $Q_{\text{песк}}$, а $Q_{\text{гот}}$ представляет собой конечный продукт процесса дробления.

Фракция песка возвращается обратно в процесс дробления, где она образует песчаную фракцию. Эта фракция служит в качестве загрузки для циркуляционной дробилки. Готовый продукт направляется в процесс флотации. Для улучшения эффективности работы классификатора, в процесс классификации подается вода (см. рисунок 2).

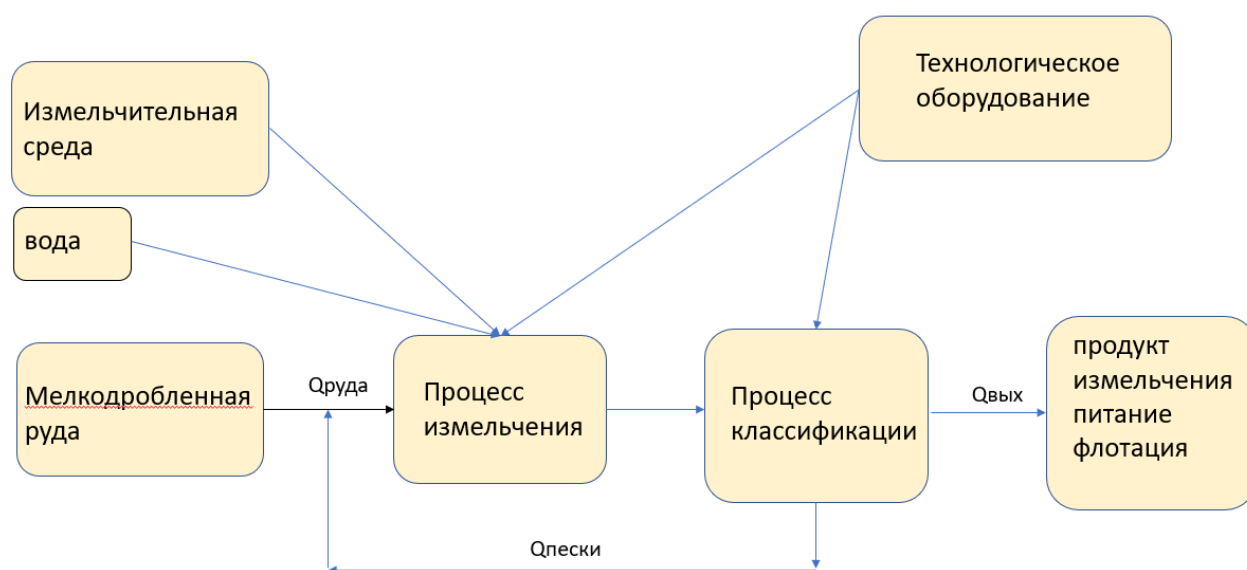


Рисунок 2 – Общая схема процесса технологии измельчения

Основные методы дробления и разрушения для уменьшения твердых минералов до требуемого размера частиц:

- Удар;
- Трение;
- Раскалывание;
- Размалывание.

В цикле подготовки флотационного сырья повторное измельчение в шаровых и валковых мельницах является операцией, которая измельчает, обновляет смесь и раскрывает минеральные зерна. Это операция, связанная с уменьшением размера частиц исходного сырья.

Стандартный размер частиц измельченного материала в шаровых мельницах не превышает 1 мм, но определяющая крупность составляет -0,071 мм. Существует, по крайней мере, четыре типа циклов измельчения (рисунок 3). Это открытый, закрытый, закрытый с предварительной дистилляцией и закрытый с использованием двух гидроциклонов.

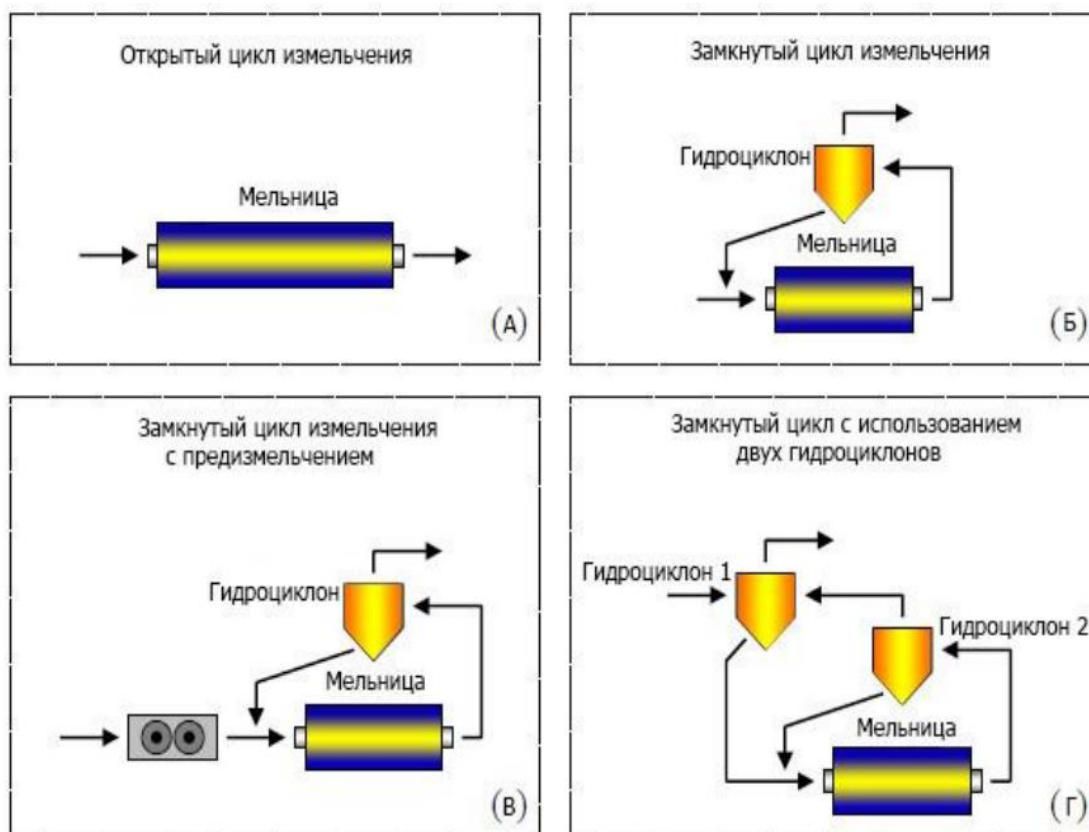


Рисунок 3 – Виды процессов измельчения

Мельница состоит из полого барабана, вращающегося вокруг горизонтальной оси с торцевыми цапфами.

При вращении барабана находящаяся в нем дробильная среда поднимается на определенную высоту под действием центробежной силы. После подъема на определенную высоту под действием центробежной силы находящаяся внутри руда дробится, скатываясь вниз. Руда внутри раскалывается, ударяется и дробится, когда она катится и падает (рис.4).

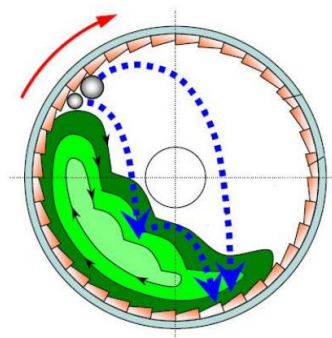


Рисунок 4 – Динамика шаров внутри мельницы

В зависимости от типа мелющей среды обычно используются мельницы самоизмельчения, стержневые, шаровые и галечные мельницы. В мельницах самоизмельчения мелющая среда представляет собой крупные куски. В стержневых мельницах это стальной стержень, в шаровых мельницах – чугун или литая сталь. В шаровых мельницах это чугунные или стальные шары; в галечных мельницах – куски кремния.

Мокрое измельчение применяется, когда необходимо получить тонкую фракцию минералоносного материала для дальнейшей переработки. Оно применяется в операциях по обогащению руды.

В шаровых мельницах траектория движения мелющих тел разнонаправленная. Основными движениями являются водопадное и каскадное.

Наиболее распространенным способом измерения производительности мельницы является тоннаж сырья, проходящего через мельницу в единицу времени, где масса сырья заданного размера частиц. Она рассчитывается на основе выходного размера частиц процесса измельчения как продукта класса шероховатости $-0,071$ мм.

Факторы, влияющие на производительность шаровых мельниц, включают следующие:

- Свойства сырья,
- Его размеры до и после измельчения;
- Скорость вращения мельницы;
- Заполнение мелющими телами;
- Конструктивные особенности;
- Материал футеровочного покрытия мельницы;
- Степень разжижения технологической пульпы;
- Эффективность классификатора.

В случае класса $-0,071$ мм на 1 м³ на обогатительных фабриках производительность шаровых мельниц составляет от $0,9$ до $1,5$ тонн в час.

Существуют мельницы с длиной, превышающей внутренний диаметр барабана мельницы без футеровки, и короткие мельницы, у которых длина короче диаметра.

На некоторых предприятиях используются стержневая и шаровая мельницы последовательно для измельчения руды.

Шаровые барабанные мельницы можно использовать как с открытым, так и с закрытым циклом, в последнем случае она работает с гидроциклоном в качестве классификатора. Измельчение материала в мельнице обычно происходит за счет воздействия внешних сил на дефекты рудной материи, такие как трещины и ослабленные сечения.

Степень измельчения определяется отношением гранулометрического состава входного и выходного продуктов. Плотность пульпы оказывает влияние на время измельчения материала в мельнице: чем плотнее пульпа, тем медленнее ее движение по длине мельницы и тем медленнее степень ее измельчения.

$$i = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} - \frac{D_{\text{ср}}}{d_{\text{ср}}} \quad (1.1)$$

где D_{\max} и d_{\max} – диаметры частиц руды, до и после измельчения;
 $D_{\text{ср}}$ и $d_{\text{ср}}$ – величина диаметров частиц руды до и после измельчения

1.3 Описание оборудования процесса измельчения

Для процесса измельчения материала обычно применяется одно или несколько устройств, предназначенных для измельчения, а также оборудование для классификации и транспортировки материала (такое как насосы, трубопроводы, конвейеры и прочее). Существует множество различных типов измельчительного оборудования, которое может быть использовано для сухого и/или влажного измельчения.

Барабанная мельница представляет собой конструкцию, состоящую из барабана, который закрыт торцевыми крышками. В центре барабана находятся полые цапфы с подшипниками. Барабан вращается вокруг горизонтальной оси и использует дробящие тела, заполняющие около половины его объема, для измельчения руды.

Мельница принимает исходное питание через специальный питатель, расположенный на загрузочной цапфе, и непрерывно разгружается через отверстие в разгрузочной цапфе на другом конце.

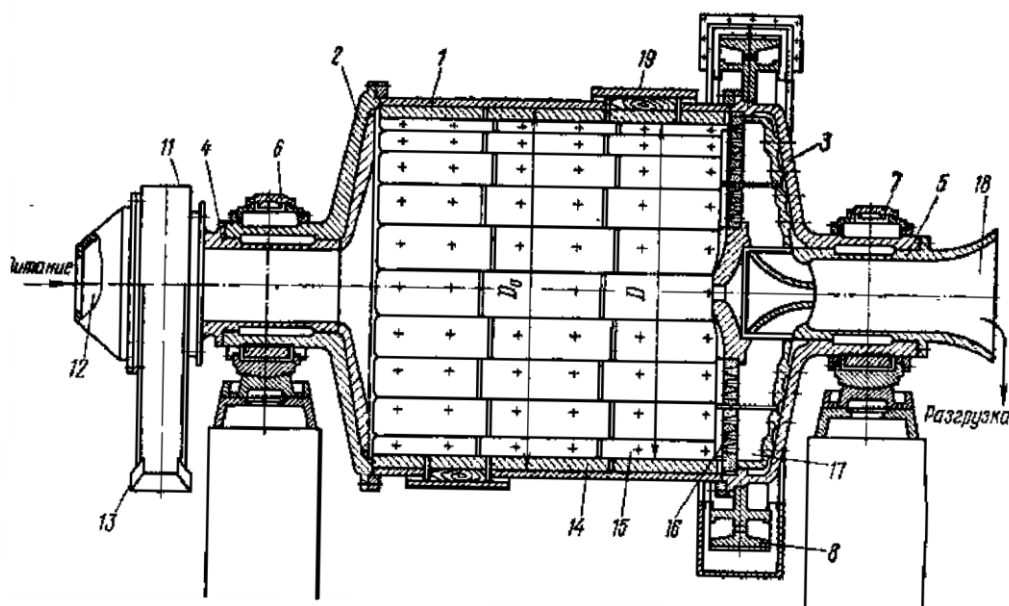


Рисунок 5 – Шаровая мельница с разгрузкой через решетку

По рисунку 2 видно, что 1 – барабан, 2 и 3 – торцевые крышки, 4 и 5 – пустотелые цапфы, 6 и 7 – коренные подшипники, 8 – зубчатый венец, 9 – шестерня, 10 – приводной вал, 11 – питатель, 12 – центральное отверстие питателя, 13 – козырек черпака, 14 – футеровочные плиты, 15 – болты футеровки, 16 – решетка, 17 – лифтеры; 18 – горловина разгрузочной цапфы; 19 – люк.

Так как принцип работы шаровых, стержневых, рудногалечных и мельниц самоизмельчения схож, можно посвятить изучению мельниц одного типа, в данном случае – шаровых, чтобы понять теоретические основы измельчения во всех.

Кованые или штампованные шары являются дробящей средой в шаровых мельницах, и при вращении они увлекаются внутренней поверхностью барабана благодаря трению. Мельницы могут работать в различных режимах в зависимости от скорости вращения барабана. Очень большая скорость вращения вызывает присоединение шаров к внутренней поверхности барабана, и шары первого слоя не способны измельчать руду. Меньшая скорость позволяет шарам двигаться по круговой траектории вместе с внутренней поверхностью барабана до точки А, после чего они падают по параболической траектории и производят измельчение (рисунок 6).

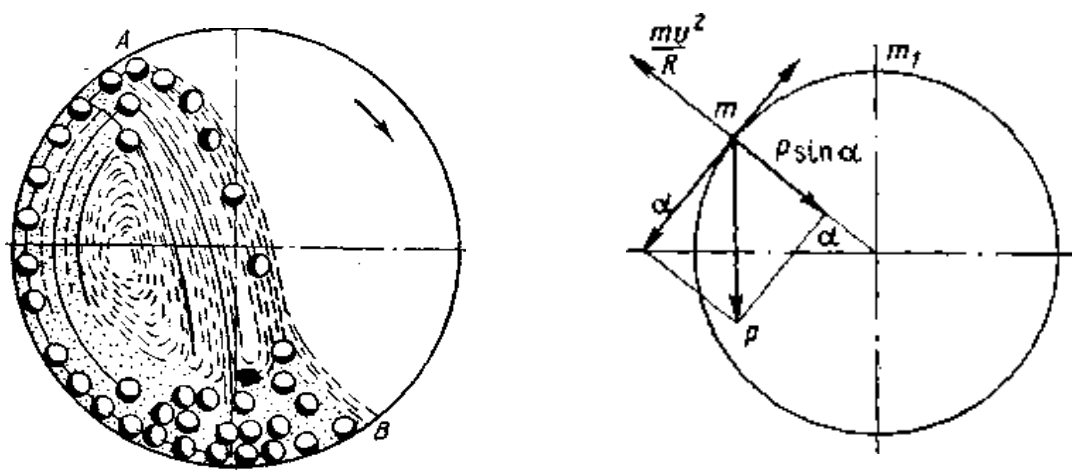


Рисунок 6 – Траектория движения шаров и схема к расчету скорости вращения мельницы

Чем выше шар поднимется перед падением, тем большую скорость имеет его падение, что приводит к большему ударному воздействию на руду в точке удара. Когда шар падает, кинетическая энергия, которая идет на измельчение, будет максимальной [1].

Смешанный режим работы мельницы возникает при частоте вращения барабана от 60 процентов до 75 процентов от критической. Когда мельница заполняется на 30–50 процентов, шары движутся в нескольких слоях с различными линейными скоростями и радиусами траекторий. Шары внешних

слоев имеют наибольший радиус траектории и скорость, что позволяет им производить измельчение руды ударом. Суммарная масса внешнего слоя шаров больше массы любого внутреннего слоя, что способствует эффективному использованию шаровой нагрузки. Шары внутренних слоев движутся по траектории с наименьшим радиусом и преимущественно измельчают руду истиранием.

Эффективность работы мельницы зависит от нескольких факторов, включая максимальную производительность, равномерность измельчения продукта и стоимость измельчения. Стоимость измельчения включает расходы на энергию, измельчающие тела и футеровку.

Расход энергии: расход энергии на измельчение 1 тонны руды составляет примерно 10-15 кВт·ч. Это составляет около 40-60 процентов от общего энергопотребления в процессе переработки руды. Высокий расход энергии обусловлен большой массой мельницы и измельчающей среды. Оптимизация работы мельницы направлена на снижение расхода энергии при сохранении необходимой производительности.

Расход измельчающих тел: измельчающие тела, такие как шары или стержни, расходуются в процессе работы мельницы. Перегрузка мельницы может привести к повышенному расходу измельчающих тел и износу. С другой стороны, недостаточная загрузка мельницы может снизить производительность и привести к ускоренному износу футеровки барабана. Оптимальное заполнение мельницы измельчающими телами может быть определено экспериментально или с использованием математического моделирования.

Скорость вращения: максимальная производительность шаровой мельницы достигается при скорости вращения в пределах 75-88 процентов от критической скорости. Критическая скорость определяется характеристиками мельницы и измельчаемого материала. При превышении или недостаточной скорости вращения мельницы производительность может снизиться.

Заполнение шарами: заполнение мельницы шарами на уровне 45-50 процентов от ее объема также влияет на производительность. Оптимальное заполнение зависит от размера шаров, размера измельчаемого материала и других факторов. Правильное заполнение обеспечивает эффективное перемешивание материала и достижение требуемого уровня измельчения.

Данное изображение (рисунок 7) показывает шаровую мельницу, которая имеет выход через решетку. Отличительной особенностью этой конструкции от шаровой мельницы с центральным выходом является больший диаметр барабана по сравнению с его длиной. При этом продукт не загружается автоматически, а принудительно через решетку (рисунок 7) с возможностью регулирования уровня выхода.

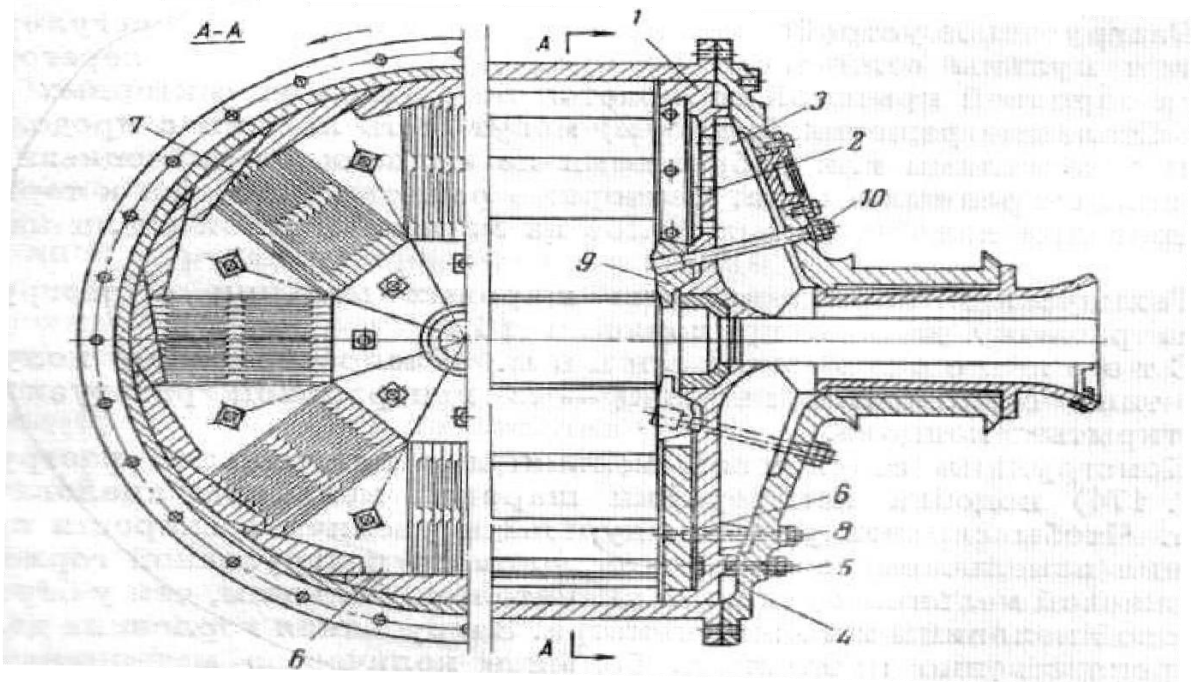


Рисунок 7 – Разгрузочная решетка мельницы

Для крепления диафрагмы 1 с отверстиями 2 и радиальными ребрами 3 используются болты 5, при этом она прилегает ребристой стороной к торцевой разгрузочной крышке 4. Центр диафрагмы содержит разгрузочное отверстие с трубой, проходящей в полулю цапфу мельницы, которая предотвращает перегрузку или засорение мельницы. Для защиты диафрагмы от износа используются футеровочные плиты 6 и 9, а также прямоугольные колосниковые решетки 7, расположенные радиально. Колосниковые решетки заклиниваются секторными футеровочными плитами 9 с креплением болтами 10.

Стержневые мельницы, предназначенные для измельчения неметаллических полезных ископаемых, имеют аналогичную конструкцию шаровых мельниц с центральной разгрузкой, но их длина в 1,5-2 раза больше диаметра. Периферическая разгрузка используется для измельчения асбестовых руд [2, 3].

Стержневая мельница с центральной разгрузкой (рисунок 8) отличается от шаровой мельницы такого типа только диаметром разгрузочной горловины.

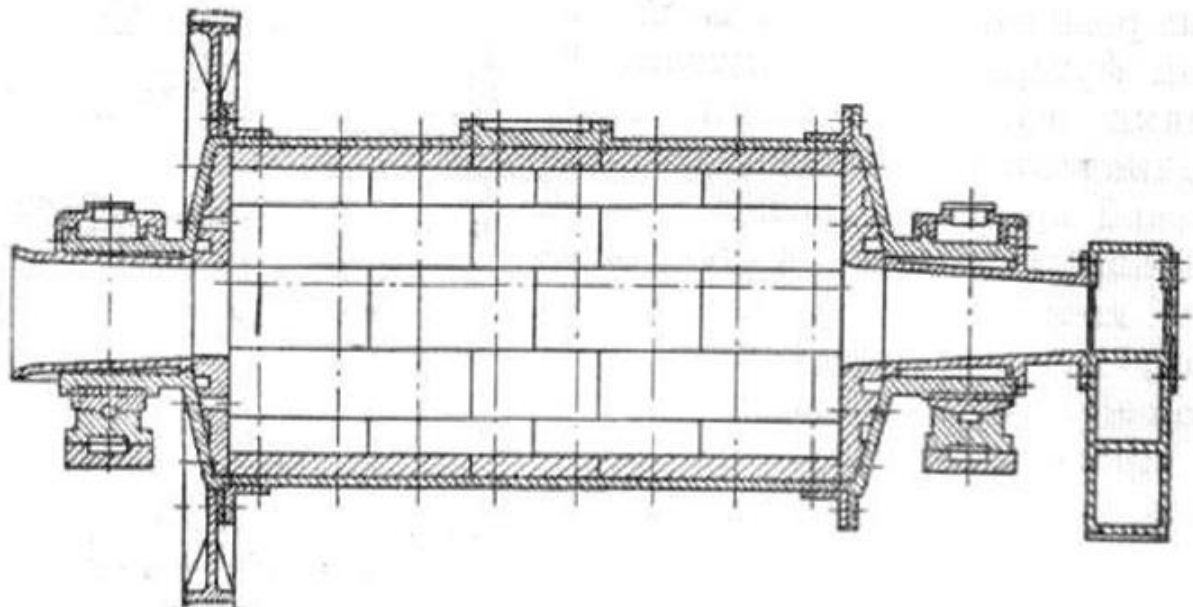


Рисунок 8 – Стержневая мельница с центральной разгрузкой

Для увеличения скорости прохождения материала и снижения уровня пульпы используется загрузочная горловина значительно большего диаметра, чем у шаровых мельниц такого же размера. Конструкция загрузочной горловины стержневых мельниц нацелена на обеспечение прохождения больших объемов материала за короткий промежуток времени, особенно при низкой степени измельчения. При диаметре горловины более 1200 мм нет необходимости в устройстве люка внутри барабана мельницы, так как материал можно загрузить через горловину.

Крышки торцевых частей стержневых мельниц имеют меньшую конусность, чем у шаровых мельниц. Стержневые мельницы используются для первичного измельчения исходной руды крупностью до 20 мм перед шаровыми мельницами, а также для измельчения руды до крупности 1-2 мм перед гравитационным обогащением. Скорость вращения стержневых мельниц составляет 60-70 процентов от критической при наличии стержней, занимающих 35-40 процентов внутреннего пространства мельницы [1, 3].

Процесс самоизмельчения в мельницах отличается от обычных методов измельчения тем, что вместо использования шаров или стержней в качестве измельчающей среды, в мельницу загружаются крупные куски руды или галя. В процессе работы эти крупные куски руды самостоятельно измельчаются и одновременно служат для измельчения мелких кусков материала.

Существуют различные варианты самоизмельчения в зависимости от исполнения мельницы:

Рудное самоизмельчение: В данном случае, в мельницу загружаются крупные куски руды, которые проходят процесс самоизмельчения. Крупные

куски руды внутри мельницы сталкиваются и тренируются друг с другом, в результате чего происходит разрушение и измельчение материала.

Рудное полусамоизмельчение: В этом случае, в мельницу также загружаются крупные куски руды. Однако, помимо самоизмельчения, также применяются шары или стержни в качестве дополнительных измельчающих тел. Крупные куски руды и измельчающие тела взаимодействуют друг с другом, способствуя более эффективному измельчению материала.

Рудно-галечное измельчение: В данном случае, помимо крупных кусков руды, также загружаются галечные камни или другие крупные негабаритные материалы. Это позволяет создать дополнительные условия для более эффективного самоизмельчения материала.

Процесс самоизмельчения может быть эффективным, особенно при обработке материалов, которые трудно измельчить с помощью традиционных методов. Однако, он требует тщательного контроля и оптимизации параметров работы мельницы, таких как скорость вращения и заполнение материалами, чтобы достичь желаемого уровня измельчения и производительности [2].

В мельницах для рудного самоизмельчения применяется загрузка крупных кусков руды, которые могут иметь размеры от 250 до 350 мм, а в некоторых случаях даже до 1100-1200 мм. Барабаны, используемые в таких мельницах, обладают значительным диаметром, достигающим 11-13 метров, и их длина составляет примерно две-три раза меньше диаметра. Обычно соотношение между диаметром и длиной барабана составляет от 1,2:1 до 2:1.

В процессе рудного полусамоизмельчения в мельницу вводятся шары диаметром 100 и 125 мм, и их количество составляет около 8-10 процентов от общего объема мельницы. Эти шары применяются в случае недостатка крупных кусков руды (размером более 100 мм) в исходном материале и с целью увеличения производительности мельницы.

В мельницах, используемых для рудно-галечного измельчения, процесс осуществляется с помощью рудной гали, которая имеет размеры в диапазоне от минус 100 мм до плюс 40 (или 25) мм. Эта рудная галя является измельчающей средой и используется после процесса рудного самоизмельчения или второго этапа дробления. В мельнице происходит измельчение руды, которая имеет размеры менее 6 мм.

Самоизмельчение стало популярным методом в обогатительных фабриках и нашло широкое применение в обработке медных, медно-молибденовых, золотосодержащих, алмазосодержащих и других типов руд. Этот процесс имеет несколько преимуществ перед измельчением со стальной средой. Во-первых, нет необходимости в среднем и мелком дроблении, а часто и в крупном, так как в мельницах самоизмельчения руда сразу после крупного дробления загружается крупностью 250 (350) мм. Во-вторых, это снижает расход стали, потому что не используются шары. В-третьих, уменьшается количество шламов, так как измельчение происходит главным образом за счет контактов между зернами. Кроме того, уменьшается количество изношенной

железной руды, что может иметь неблагоприятное влияние на такие процессы, как флотация или цианирование [2].

Мельницы могут быть разного размера, и в зависимости от этого используются разные способы установки футеровочных плит - в мельницах маленького размера устанавливаются через люки, а в больших мельницах - через разгрузочную цапфу (рисунок 9). Для измельчения материала в барабан загружаются стальные или чугунные шары. В мельницах с центральной разгрузкой пульпа в барабане имеет высокий уровень, что приводит к медленному движению материала и более тонкому измельчению [2].

Выбор режима измельчения зависит от характеристик сырья и требований к размеру измельченного продукта. Режимы движения измельчающих тел могут быть каскадными, водопадными, критическими, при этом измельчающая среда вместе с барабаном приподнимается на угол и скатывается под действием гравитации.

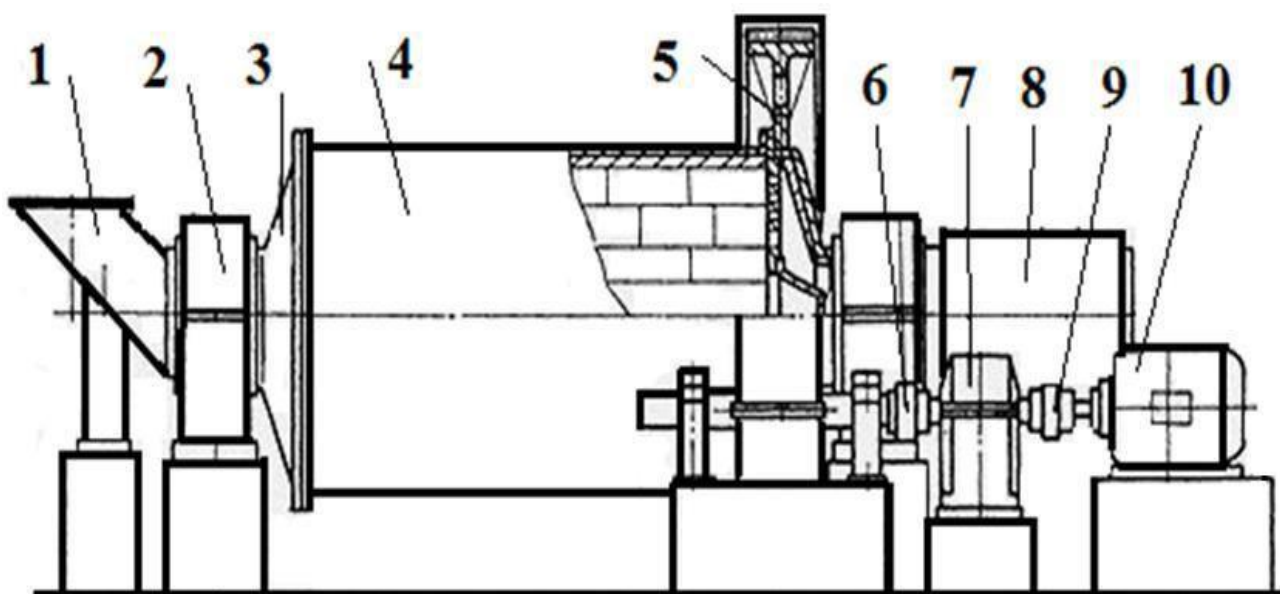


Рисунок 9 – Шаровая мельница с центральной разгрузкой МШЦ

По рисунку видно, что 1 – питательная часть, 2 – основной подшипник, 3 – загрузочная часть, 4 – барабан, 5 – привод, 6 – муфта, 7 – редуктор, 8 – разгрузочная часть, 9 – муфта, 10 – электродвигатель.

При одинаковой скорости вращения, высота подъема частиц, которые измельчаются, остается неизменной. При этом эти частицы постоянно движутся по круговым траекториям, поднимаясь и затем скатываясь в "каскадном" порядке.

Водопадный режим работы мельницы достигается при высокой скорости вращения барабана, которая составляет 0,7–0,8 критической частоты. Критическая частота – это та частота, при которой тела, находящиеся на внутренней поверхности барабана, начинают центрифугировать. В этом режиме измельчающая среда поднимается на большую высоту и падает по

параболическим траекториям, измельчая руду в результате ударов и истирания. Водопадный режим подходит для грубого измельчения в одной стадии.

Критическое число барабана – это число оборотов, при котором дробящие тела, расположенные на внутренней поверхности барабана, прижимаются к нему центробежной силой и вращаются вместе с ним. Критическую частоту вращения $n_{кр}$ можно определить по формуле, где D – внутренний диаметр барабана (формула 1.2):

$$n_{кр} = 42.3\sqrt{D} \quad (1.2)$$

При работе мельницы измельчающая среда движется по круговым траекториям, вызванным трением между футеровкой и телами, а также между телами самими.

Коэффициент трения зависит от свойств руды, состояния футеровки, плотности и вязкости пульпы. Скольжение измельчающих тел возможно при малых частотах и небольших заполнениях мельницы, но с увеличением коэффициента заполнения и негладкости футеровки, скольжение возможно только для внутренних слоев тел. Мельницы вращаются при частотах 50-90 процентов от критической в зависимости от требований и движения измельчающей среды. Руда измельчается в каскадном или водопадном режиме, при этом крупные куски руды переходят в каскадный, а промежуточной крупности - в водопадный режим. Высокая частота вращения используется для получения крупноизмельченного продукта, а меньшая - для тонкого измельчения. Гидроциклоны используются в замкнутом цикле с шаровыми мельницами.

Гидроциклон – это аппарат, который работает на принципе центробежного сепаратора и используется для различных целей, включая обесшламливание, сгущение шламов и продуктов флотации, осветление оборотных вод, классификацию рудной пульпы в замкнутом цикле с шаровыми мельницами, обогащение тонких фракций угля и руд в водной среде и тяжелых суспензиях. При работе гидроциклона создается центробежное поле в результате вращения пульпы (рисунок 10).

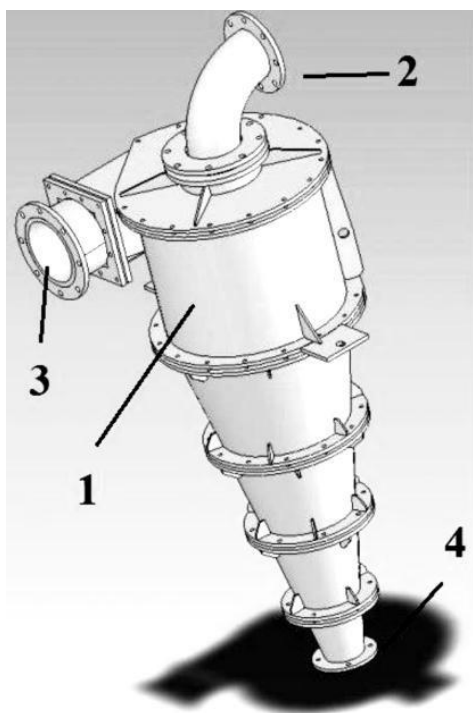


Рисунок 10 – Гидроциклон

На рисунке показано, что 1 – корпус; 2 – сливной патрубок; 3 – питающая насадка; 4 – песковая насадка.

Гидроциклоны работают по принципу сепарации твёрдых частиц во вращающемся потоке жидкости. Скорость сепарации частиц в центробежном поле гидроциклона значительно превышает скорость осаждения этих частиц в поле гравитации. В последнее время в технологии обогащения стали более популярны кластеры гидроциклонов, которые увеличивают производительность, сохраняя тонкость классификации. Кроме того, такое решение позволяет снизить давление пульпы и потребляемую мощность питающих насосов.

Применение гидроциклонов в металлургической промышленности снижает энергозатраты и износ мельниц, за счет более эффективного процесса измельчения частиц руды [1, 2].

Особенности гидроциклона:

- Система защиты от засорения, состоящая из двух уровней.
- Возможность эксплуатации установок с использованием гидростатического напора, без применения центробежных насосов и дополнительных емкостей.
- Компактные размеры и легкий вес позволяют разместить нужное количество аппаратов на существующих производственных площадях.
- При использовании полиуретановых деталей повышается срок службы песковых насадок на 2.5 лет, корпусов и сливных насадок на 4-5 лет, что позволяет сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт [4].

Преимущества:

- Материалы, используемые для изготовления аппаратов, имеют повышенную стойкость, что позволяет увеличить срок эксплуатации

оборудования в 5-9 раз по сравнению с гидроциклонами, изготовленными из износостойчивого чугуна.

– Гидроциклоны работают стабильно в широком диапазоне изменения входных параметров, что упрощает процесс автоматизированного управления и контроля качества.

– Каждый аппарат снабжен блок-схемой управления процессом, что позволяет создать адаптированную программу контроля, соответствующую уже существующей информационно-управляющей системе технологического процесса.

– Индивидуальный расчет технологической схемы подключения, конструкции и режима работы для каждого аппарата [5].

1.4 Функциональная схема мельницы измельчения руды

Первый контур, обозначенный как 1а-1ж, предназначен для регулирования расхода руды в мельницу. Он играет важную роль в обеспечении стабильного и оптимального процесса измельчения руды. Начальный сигнал, полученный с тензометрических весов 1а, передается на местный индикатор 1б. Это позволяет оператору мониторить текущие значения веса руды, которые являются основой для контроля расхода. Затем сигнал направляется на пульт управления 1в, который предоставляет оператору удобный интерфейс для управления и мониторинга процесса. С помощью пульта оператор может визуально отслеживать и настраивать параметры контура. Далее сигнал передается на Устройство Визуализации и Мониторинга (УВМ). На дисплее 1г УВМ отображаются значения веса, преобразованные в расходные значения. Это позволяет оператору наглядно видеть текущий расход руды в мельницу и контролировать его в режиме реального времени. Дополнительно, УВМ осуществляет регистрацию показаний веса и может предоставлять сигналы сигнализации для предупреждения об отклонениях от заданных пределов. Сигналы с УВМ далее направляются в блок управления с индикацией 1д. В этом блоке оператор имеет возможность ручного управления процессом и корректировки параметров, если необходимо. Это позволяет оператору вмешаться в процесс, если возникнут ситуации, требующие немедленного реагирования. В случае отказа электроники или других неисправностей, управляющий сигнал передается на исполнительный механизм 1ж с ручным приводом.

Второй контур управления расходом воды в мельнице представляет собой систему, включающую несколько компонентов. Начальный сигнал, полученный с расходомера 2а, передается на пульт управления 2б, где отображается на индикаторе. Затем этот сигнал направляется на устройство визуализации и мониторинга (УВМ) с дисплеем 2в, который обеспечивает отображение, запись и сигнализацию показаний расходомера. Сигналы с УВМ поступают в блок управления с индикатором 2г, где имеется возможность

ручного управления процессом 2д. После этого управляющий сигнал передается с блока управления на исполнительный механизм с ручным приводом 2е и, в конечном итоге, на задвижку 2ж.

Третий контур управления расходом воды в зумпфе, обозначенный как 3а-3ж, представляет собой систему, которая обеспечивает этот процесс. Исходный сигнал от расходомера 3а проходит через пульт управления 3б, где отображается на индикаторе, и затем поступает на устройство визуализации и мониторинга (УВМ), где на дисплее 3в отображаются показания расходомера и предусмотрена возможность индикации, регистрации и сигнализации. Сигналы с УВМ отправляются в блок управления 3г, где можно осуществлять ручное управление процессом 3д. Исполнительный механизм с ручным приводом 3е получает управляющий сигнал от блока управления и затем направляет его на задвижку 3ж.

Четвертый контур управления заполнением мельницы на основе акустических сигналов, обозначенный как 4а-4б, является системой, разработанной для тщательного контроля объемного заполнения мельницы. Он использует вибро-акустический анализатор загрузки мельницы (ВАЗМ) 4а, который регистрирует и анализирует акустические сигналы, генерируемые внутри мельницы в процессе ее работы. Сигнал с ВАЗМ 4а передается на устройство визуализации и мониторинга (УВМ), которое играет ключевую роль в контроле и управлении процессом загрузки мельницы. УВМ получает сигналы от ВАЗМ и использует их для генерации управляющих воздействий на процесс загрузки. Это позволяет оптимизировать заполнение мельницы и обеспечить ее эффективную работу. На дисплее 4б, который является частью УВМ, предусмотрена возможность индикации, регистрации и сигнализации показаний, получаемых от ВАЗМ. Оператор или персонал могут наблюдать показания на дисплее, получать информацию о текущем уровне заполнения мельницы и принимать необходимые меры в случае отклонений или нежелательных изменений. Таким образом, контур 4а-4б обеспечивает надежный контроль и управление объемным заполнением мельницы на основе акустических сигналов, что способствует повышению эффективности и оптимизации процесса измельчения материалов.

Пятый контур управления уровнем пульпы в зумпфе, обозначенный как 5а-5б, разработан для надежной регистрации уровня пульпы внутри зумпфа. Для этой цели используется уровнемер 5а, который предоставляет сигнал о текущем уровне пульпы. Сигнал с уровнемера 5а передается на устройство визуализации и мониторинга (УВМ), которое играет ключевую роль в контроле и отслеживании уровня пульпы. На дисплее 5б, являющемся частью УВМ, предусмотрена возможность индикации, регистрации и сигнализации показаний уровнемера. Это позволяет оператору или персоналу системы наблюдать текущий уровень пульпы в реальном времени и принимать соответствующие меры в случае необходимости. Индикация позволяет отображать численные значения или графическую информацию о текущем уровне пульпы на дисплее. Регистрация позволяет сохранять исторические

данные о изменениях уровня пульпы, что может быть полезно для анализа и оптимизации процесса. Сигнализация предоставляет звуковые или визуальные сигналы, чтобы предупредить оператора о превышении заданных уровней или возникновении аварийных ситуаций. Таким образом, контур 5а-5б обеспечивает надежную и точную регистрацию уровня пульпы в зумпфе, а также предоставляет возможность оперативного мониторинга и управления этим параметром в процессе работы системы. Это способствует оптимизации процесса и обеспечению эффективного функционирования зумпфа.

Контур регистрации давления потока в гидроциклоне, обозначенный как ба-бв, является важной системой, предназначенной для точного контроля давления внутри гидроциклона. Он обеспечивает надежную регистрацию и мониторинг давления, что является важным параметром для эффективного функционирования гидроциклона. Сигнал давления, полученный от датчика давления ба, передается в пневмоэлектрический преобразователь бб. Этот преобразователь преобразует пневматический сигнал в электрический сигнал, который далее передается на устройство визуализации и мониторинга (УВМ). УВМ является ключевым компонентом контура ба-бв. На дисплее бв, присутствующем в УВМ, предусмотрена индикация, регистрация и сигнализация показаний датчика давления. Оператор или персонал могут наблюдать текущие значения давления на дисплее, получать информацию о его изменениях и принимать необходимые меры в случае отклонений от заданных значений. Индикация на дисплее позволяет визуально отображать численные значения или графическую информацию о давлении потока в гидроциклоне. Регистрация показаний позволяет сохранять данные о давлении для последующего анализа и контроля процесса. Сигнализация может предоставлять звуковые или визуальные сигналы для предупреждения оператора о превышении допустимого диапазона давления или возникновении аварийных ситуаций.

Контур 7а-7в является важной системой, предназначенной для регистрации плотности готового класса. Этот контур играет решающую роль в контроле и мониторинге плотности обрабатываемого материала, что является критическим параметром для достижения требуемых результатов и качества процесса. Сигнал плотности, полученный от плотномера 7а, передается на индикатор на пульте 7б. Пульт является удобным и доступным местом для наблюдения текущих значений плотности готового класса. Затем сигнал направляется на устройство визуализации и мониторинга (УВМ), где происходит дальнейшая обработка и анализ данных. УВМ, играющая ключевую роль в контуре 7а-7в, обеспечивает индикацию, регистрацию и сигнализацию показаний плотномера. На дисплее 7в, присутствующем в УВМ, оператор или персонал могут наблюдать текущие значения плотности готового класса. Это позволяет оперативно отслеживать и контролировать плотность материала в режиме реального времени. Индикация на дисплее 7в предоставляет визуальное отображение численных значений или графическую информацию о плотности готового класса. Регистрация показаний плотномера

позволяет сохранять исторические данные о плотности для последующего анализа и контроля процесса. Сигнализация предоставляет звуковые или визуальные сигналы, чтобы предупредить оператора о превышении заданных пределов плотности или возникновении аварийных ситуаций.

Контур 8а–8в является важной системой, разработанной для регистрации гранулометрического состава готового класса. Гранулометрический состав является существенным параметром, определяющим размеры и распределение частиц в обрабатываемом материале, и его контроль играет важную роль в обеспечении требуемого качества и оптимальной производительности процесса. Сигнал полученный от гранулометра 8а, направляется на индикатор, установленный на месте 8б. Это обеспечивает оператору или персоналу системы удобный доступ к текущим значениям гранулометрического состава готового класса. Затем сигнал передается на устройство визуализации и мониторинга (УВМ), где происходит дальнейшая обработка и анализ данных.

УВМ является ключевым компонентом контура 8а–8в и выполняет ряд функций, включая индикацию, регистрацию и сигнализацию показаний гранулометра. На дисплее 8в, присутствующем в УВМ, оператор может визуально отслеживать текущие значения гранулометрического состава готового класса. Это позволяет наблюдать размеры и распределение частиц в режиме реального времени. Индикация на дисплее 8в предоставляет визуальное отображение численных значений или графическую информацию о гранулометрическом составе готового класса. Регистрация показаний гранулометра позволяет сохранять исторические данные о гранулометрическом составе для последующего анализа и контроля процесса. Сигнализация может предоставлять звуковые или визуальные сигналы для предупреждения оператора о превышении заданных пределов гранулометрического состава или возникновении аварийных ситуаций.

SIMATIC S7-300 является программным контроллером, разработанным и выпускаемым компанией Siemens. Он является частью семейства контроллеров SIMATIC S7, которые широко используются в промышленной автоматизации для управления и контроля различных процессов.

SIMATIC S7-300 предлагает высокую производительность, надежность и гибкость в программировании и конфигурации. Он оснащен мощным процессором, различными входами и выходами (I/O) для подключения датчиков, исполнительных механизмов и других устройств, а также имеет возможность расширения с помощью дополнительных модулей.

Основными преимуществами SIMATIC S7-300 являются:

- Модульность: Контроллер состоит из центрального процессорного модуля (CPU) и различных модулей расширения I/O. Это позволяет гибко настраивать систему под требования конкретного процесса.
- Программирование: Контроллер SIMATIC S7-300 программируется с использованием языка программирования Step 7, который предоставляет разнообразные инструменты и функции для разработки сложной логики управления.

– Коммуникация: SIMATIC S7-300 обладает различными возможностями коммуникации, позволяющими обмениваться данными с другими устройствами и системами, включая протоколы промышленной автоматизации, такие как Profibus и Profinet.

– Надежность: Контроллер обеспечивает стабильную и надежную работу в тяжелых промышленных условиях, благодаря своей высокой степени защиты от пыли, влаги, вибраций и других неблагоприятных факторов.

– Масштабируемость: SIMATIC S7-300 предлагает возможность расширения системы путем подключения дополнительных модулей I/O, что позволяет адаптировать контроллер к изменяющимся требованиям и расширять его.

Таблица 2 – Спецификация на приборы функциональной схемы

№ по ФСА	Название	Примечание
1а-1е	Ленточный дозатор MULTIDOS Версия 4	Индикатор 1б входит в его состав;
2а, 3а	Ультразвуковой расходомер воды US800	Индикаторы 2б и 3б входят в его состав;
2е-2ж, 3е-3ж	Клапан КСР-Э	
4а	Аппаратно-программный комплекс контроля загрузки мельниц ВАЗМ-1	
5а	Ультразвуковой уровнемер EchoTREK	
6а	Датчик давления DMP 331	
8а	Гранулометр ПИК-074П	Индикатор 8б входит в его состав;
6б	Пневмоэлектрический преобразователь ПЕП-11	
7б	Индикатор технологический микро-процессорный ИТМ-20	
1г-1д, 2г-2д, 3г-3д.	Блок ручного управления с индикацией БРУ-42	
1в-2в-3в-4в-5б-6в-7в-8в	Монитор 21 дюйм 2 шт.	

1.5 Содержательная постановка задачи управления

Задача управления мельницы измельчения заключается в обеспечении оптимальной производительности мельницы при максимальной эффективности ее работы. Конкретные цели и задачи могут варьироваться в зависимости от типа мельницы и характеристик обрабатываемого материала, но общая постановка задачи может быть сформулирована следующим образом:

Цель: обеспечить оптимальную производительность мельницы при максимальной эффективности ее работы.

Задачи:

– Определить оптимальные параметры работы мельницы в зависимости от характеристик обрабатываемого материала, таких как размеры частиц, плотность и твердость материала, влажность и т.д.

– Установить необходимое количество материала для обработки и скорость подачи материала в мельницу.

– Настроить систему контроля технологических параметров, таких как температура и давление в мельнице, чтобы обеспечить стабильность производительности и качества продукции.

– Разработать оптимальную схему управления мельницей, включая настройку частотных преобразователей, управление системой охлаждения и другими устройствами.

– Обеспечить безопасность работы мельницы, включая контроль загрузки материала, предотвращение перегрузки и аварийных ситуаций.

– Организовать регулярное техническое обслуживание мельницы, включая проверку и замену изношенных деталей, очистку и смазку механизмов и т.д.

– Оптимизировать процесс измельчения для достижения максимальной экономической эффективности и минимизации затрат на энергию и материалы.

– Анализировать данные о производительности мельницы и определять возможные пути ее улучшения.

– Обучать персонал, работающий с мельницей, правильному использованию и обслуживанию оборудования, а также обучать новых сотрудников.

– Следить за соблюдением требований экологической безопасности в процессе работы мельницы.

2 Специальная часть

2.1 Математическая постановка задачи управления

Задача управления мельницей может быть сформулирована следующим образом:

В качестве объекта управления задается:

– мельница, оснащенная системой управления, которая позволяет изменять параметры процесса измельчения зерна (например, скорость вращения вала мельницы, величину зазора между жерновами, расход воздуха и т.д.);

– требования к качеству продукции, которые могут быть выражены, например, в виде заданных параметров помола (размер частиц, степень измельчения, влажность и т.д.);

– входные данные, такие как тип руды, начальная влажность и т.д.

Необходимо определить оптимальные параметры управления мельницей, которые позволят получить продукцию заданного качества с использованием минимальных затрат на энергию и другие ресурсы.

Таким образом, задача управления мельницей сводится к поиску оптимальных значений параметров процесса, которые достигают желаемых характеристик продукции, при этом минимизируя затраты на ресурсы и соблюдая технологические ограничения мельницы. Решение этой задачи может быть достигнуто с помощью математического моделирования процесса измельчения зерна и оптимизации параметров управления на основе полученных результатов.

2.2 Составление математической модели управления

Для составления математической модели управления мельницы измельчения руды необходимо учитывать множество факторов, таких как характеристики руды, технические параметры мельницы, эффективность и производительность оборудования и т.д.

Одним из ключевых факторов, влияющих на процесс измельчения руды, является размер гранул. При измельчении руды происходит её распад на более мелкие частицы, причём чем меньше размер гранул, тем более равномерно происходит этот процесс.

Однако при этом необходимо учитывать, что слишком мелкие частицы могут забивать сита и затруднять процесс измельчения, что в свою очередь может привести к снижению производительности и увеличению износа оборудования.

Таким образом, математическая модель управления мельницей измельчения руды должна учитывать следующие параметры:

– Размер гранул руды.

- Технические характеристики мельницы (мощность, скорость вращения, диаметр и т.д.).
- Эффективность процесса измельчения (выход готовой продукции, расход энергии и т.д.).
- Состояние и износ оборудования.
- Состав руды и её химические свойства.

На основе этих параметров можно разработать математическую модель, которая будет оптимизировать процесс измельчения руды и обеспечивать максимальную эффективность и производительность оборудования при минимальных затратах энергии и ресурсов.

Во время анализа системы управления и моделирования дробильно-измельчительного процесса необходимо учитывать, что подача воды будет регулироваться локальными настройками, чтобы улучшить гидродинамические режимы в мельницах и обеспечить постоянную плотность сливов классификаторов обогащения. Предполагается, что классификация безупречна и мелкие частицы уходят в слив, а крупные - в пески. В таком случае основной цикл дробления может быть представлен в виде системы "реактор-узел с идеальным разделением и рестартовым циклом".

Мельница, по сути, является реактором и имеет экстремальную статическую характеристику $f(\Phi)$, которая представлена на рисунке 8 и достигает максимума в определенной точке при использовании соответствующей формулы

$$f(\Phi_0) = P_{max} \quad (2.1)$$

где Φ_0 представляет общий поток исходных и рециркулированных продуктов;

$f(\Phi)$ - это показатель эффективности производства готового продукта.

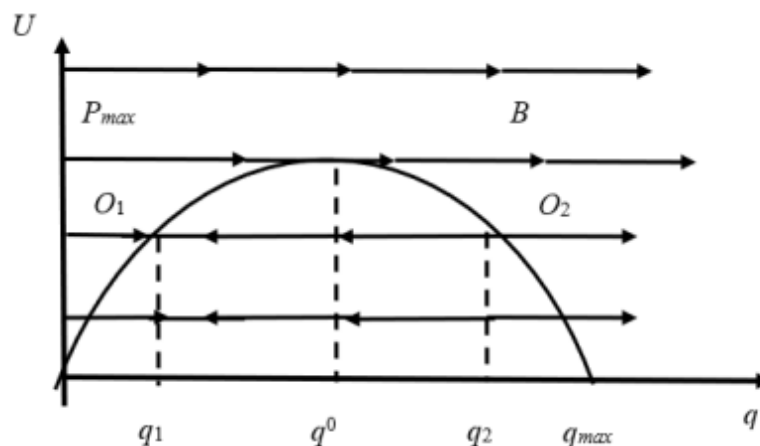


Рисунок 11 – Приведена зависимость продуктивности мельницы от запаса руды

При постоянном входном потоке ($U = \text{const}$) система ведет себя следующим образом.

При $U < P_{\text{max}}$ система имеет два стационарных состояния $O1, O2$ при различных величинах $R1, R2$ ($R1 < R2$) рециркулирующего потока (рисунок 11), являющихся решениями уравнения:

$$f(R + U) = U \quad (2.2)$$

Состояние $O1$ системы является устойчивым, а состояние $O2$ - неустойчивым. В зависимости от начального состояния системы она может двигаться к состоянию $O1$ или уйти в неограниченный рециркулирующий поток ($R(t) \rightarrow \infty$), что приводит к выходу технологических параметров системы за пределы допустимых значений в соответствии с [3].

При $U = P_{\text{max}}$ система имеет одно стационарное состояние $O0$, которое является экстремумом функции $f(\Phi)$. Это состояние устойчиво в левой части ($\Phi < \Phi_0$) и неустойчиво в правой части ($\Phi > \Phi_0$).

При $U > P_{\text{max}}$ система не имеет стационарных состояний, и рециркулирующий поток $R(t)$ стремится к бесконечности. Это означает, что максимизация производительности системы приводит к выходу системы на границу устойчивости.

Математическое представление мельницы выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dG}{dT} = \Phi - S; \\ \frac{dM}{dT} = V - P, \end{cases} \quad (2.3)$$

где G – заполнение мельницы материалов;

Φ, S – величины входного и выходного потоков из мельницы;

M – масса готового класса в мельнице;

V – скорость образования готового класса;

$P = \frac{S \cdot M}{G}$ – величина выходного потока готового класса из мельницы.

Математическая модель гидроциклона:

$$\begin{cases} Z = P; \\ \frac{dK}{dT} = Q - R, \end{cases} \quad (2.4)$$

где Z - величина потока слива гидроциклона;

K -масса песков на дне гидроциклона;

$Q = S \cdot (G - M) / G$ - величина выходного потока неготового класса из мельницы;

R - величина потока рециркулирующих песков.

В шаровой мельнице для канала расхода сырья и запаса промпродукта уравнение баланса будет таким:

$$\frac{dM}{dt} = Q_{\text{вх}} - Q_{\text{вых}} \quad (2.5)$$

где M – запас материала в мельнице;

$Q_{\text{вх}}$. – входной поток сырья для измельчения;

$Q_{\text{вых}}$. – выходной поток продукта измельчения.

Количество готового продукта измельчения $Q_{\text{вых}}$. напрямую зависит от запаса материала M в мельнице. В равновесных режимах эту зависимость можно представить в виде статической характеристики.

$$Q_{\text{вых}} = Q_{\text{вых}}(M) \quad (2.6)$$

Представленная зависимость обладает экстремальным характером, который основывается на следующих рассуждениях. Производительность мельницы по готовому продукту измельчения $Q_{\text{вых}} = 0$, когда в ней отсутствует материал ($M = 0$). Следовательно, с увеличением количества материала M в мельнице производительность $Q_{\text{вых}}$ будет возрастать. Однако при переполнении мельницы материалом образование нового измельченного продукта практически прекращается, количество слива из классификатора уменьшается, а поток $Q_{\text{вых}}$. будет стремиться к нулю.

Формула (2.6) будет справедливо для режимов равновесных, что касается переходных процессов, то они не будут равны. Если значение $Q_{\text{вых}}$. было выведено из равновесного состояния, то возможно оценить, как быстро оно приблизится к равновесному значению. Для этого необходимо рассмотреть точку, которая характеризует текущее состояние агрегата и не лежит на статической характеристике, а отклонена от нее. Затем, стоит определить скорость, с которой данная точка приближается к статической характеристике, когда она приближается к ней. Таким образом, можно оценить скорость, с которой значения $Q_{\text{вых}}$. приближается к равновесному значению в ходе переходных процессов.

Исходя из теории устойчивости, можно определить невозмущенное движение как состояние равновесия системы, без каких-либо отклонений от этого состояния. В свою очередь, возмущенное движение представляет собой отклонение от состояния равновесия системы. Таким образом, при применении понятий возмущенного и невозмущенного движения, можно сказать, что состояние равновесия является невозмущенным движением, а любое отклонение от него – возмущенным.

Возможно найти уравнение возмущенного движения, отклонение которого обозначено как

$$\Delta Q_{\text{вых}} = Q_{\text{вых}} - Q_{\text{вых}}(M) \quad (2.7)$$

Для этого, мы можем использовать зависимость (11), которая описывает невозмущенное движение.

$$\frac{d\Delta Q_{\text{ВЫХ}}}{dt} \cdot \frac{1}{\omega} + \Delta Q_{\text{ВЫХ}} = 0 \quad (2.8)$$

Число ω означает характеристику скорости циркуляции и быстроту движений в оборудовании. Равенство $T = \frac{1}{\omega}$ постоянная времени, которое применяют при уравнении возмущенного движения, характеризующее скорость переходных процессов $Q_2(t) \rightarrow Q_2[M(t)]$.

Если суммировать уравнение статики и возмущенного движения, то выйдет такая формула

$$\frac{d\Delta Q_{\text{ВЫХ}}}{dt} \cdot \frac{1}{\omega} + \Delta Q_{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{ВЫХ.СТ}} = \Delta Q_{\text{ВЫХ}}(M) \quad (2.9)$$

$$\Delta Q_{\text{ВЫХ}} + Q_{\text{ВЫХ.СТ}} = Q_{\text{ВЫХ}} \quad (2.10)$$

Поэтому формула преобразуется в

$$\frac{dQ_{\text{ВЫХ}}}{dt} \cdot \frac{1}{\omega} + Q_{\text{ВЫХ}} = Q_{\text{ВЫХ}}(M) \quad (2.11)$$

Из уравнения баланса подставляем формулу и получается

$$\frac{1}{\omega} * \frac{d^2M}{dt^2} + \frac{dM}{dt} + Q_{\text{ВЫХ}} = Q_{\text{ВХ}} + \frac{1}{\omega} * \frac{dQ_{\text{ВХ}}}{dt} \quad (2.12)$$

Если проигнорировать возмущенное движение из-за малости, то равенство примет вид:

$$\frac{d\Delta M}{dt} + Q_{\text{ВЫХ}}(\Delta M) = \Delta Q_{\text{ВХ}} \quad (2.13)$$

Образуется уравнение такого вида:

$$\frac{1}{Q_{\text{ВЫХ}}(\Delta M)} \frac{d\Delta M}{dt} + 1 = \frac{Q_{\text{ВХ}}(\Delta M)}{Q_{\text{ВЫХ}}(\Delta M)} \quad (2.14)$$

Обозначим

$$\frac{1}{Q_{\text{ВЫХ}}(\Delta M)} = T \quad \frac{Q_{\text{ВХ}}(\Delta M)}{Q_{\text{ВЫХ}}(\Delta M)} = K \quad (2.15)$$

Из этого получаем передаточную функцию объекта

$$W(p) = \frac{\Delta M}{\Delta Q_{\text{вх}}} = \frac{K}{T_p + 1} \quad (2.16)$$

В результате чего получаем готовую передаточную функцию по каналу “расход сырья – запас промышленного материала в мельнице”:

$$W(p) = \frac{0,81}{2,8p + 1} \quad (2.17)$$

Либо

$$G(s) = \frac{0,81}{2,8s + 1} \quad (2.18)$$

В математической модели классификатора на канал “расход воды – плотность слива” составим уравнение баланса

$$V * \frac{dp_n}{dt} = Q_{\text{измел}} + Q_{\text{в}} - Q_{\text{песк}} - Q_{\text{слив}} \quad (2.19)$$

где V – объем пульпы находящийся в классификаторе всегда неизменна;
 $Q_{\text{измел}}$ – расход руды которая была измельчена;
 $Q_{\text{песк}}$ – расход песка в классифицирующем агрегате;
 $Q_{\text{слив}}$ – расход готовой руды в сливе классифицирующего агрегата;
 $Q_{\text{в}}$ – расход воды;
 p_n – плотность.

Образуем формулу

$$V * \frac{d\Delta p_n}{dt} = \Delta Q_{\text{измел}} + \Delta Q_{\text{в}} - \Delta Q_{\text{песк}} - \Delta Q_{\text{слив}} \quad (2.20)$$

По этой формуле получается что, как бы не изменялся расход воды расход руды подвергшейся измельчению не меняется

$$\Delta Q_{\text{измел}} = 0 \quad (2.21)$$

Соответственно выход песков тоже остается неизменным

$$\Delta Q_{\text{песк}} = 0 \quad (2.22)$$

В случае, если расход воды меняется, так же меняется плотность слива в классификаторе

$$\Delta p_{\text{слив}} = k_1 \Delta p_{\text{в}} \quad (2.23)$$

По предыдущим формулам получаем

$$\Delta Q_{\text{слив}} = k_2 \Delta p_{\text{слив}} \quad (2.24)$$

Из всех зависимостей выходит такое уравнение

$$\frac{V}{k_1 k_2} \frac{d\Delta p_{\text{слив}}}{dt} = \Delta Q_{\text{в}} - k_2 \Delta p_{\text{слив}} \quad (2.25)$$

Поставим значения

$$\frac{V}{k_1 k_2} = T \quad \frac{1}{k_2} = K \quad (2.26)$$

Формула получает вид

$$T \frac{d\Delta p_{\text{слив}}}{dt} + \Delta p_{\text{слив}} = K \Delta Q_{\text{в}} \quad (2.27)$$

Из этого передаточная функция будет такой

$$W(p) = \frac{\Delta p_{\text{слив}}}{\Delta Q_{\text{в}}} = \frac{K}{Tp + 1} \quad (2.28)$$

Вставляем значения

$$W(p) = \frac{0,7}{3,1p + 1} \quad (2.30)$$

Получаем передаточную функцию

$$G(s) = \frac{0.567}{8.68s^2 + 5.9s + 1} \quad (2.31)$$

2.3 Анализ и синтез регулятора по эмпирическим методам

Взять модель разомкнутого объекта

$$G(s) = \frac{0.567}{8.68s^2 + 5.9s + 1} \quad (2.31)$$

– Метод Циглера Никольса 1

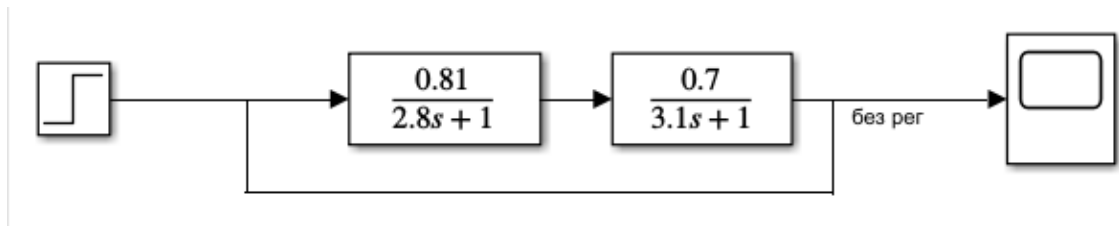


Рисунок 12 – Схема моделирования замкнутой системы мельницы–гидроциклон

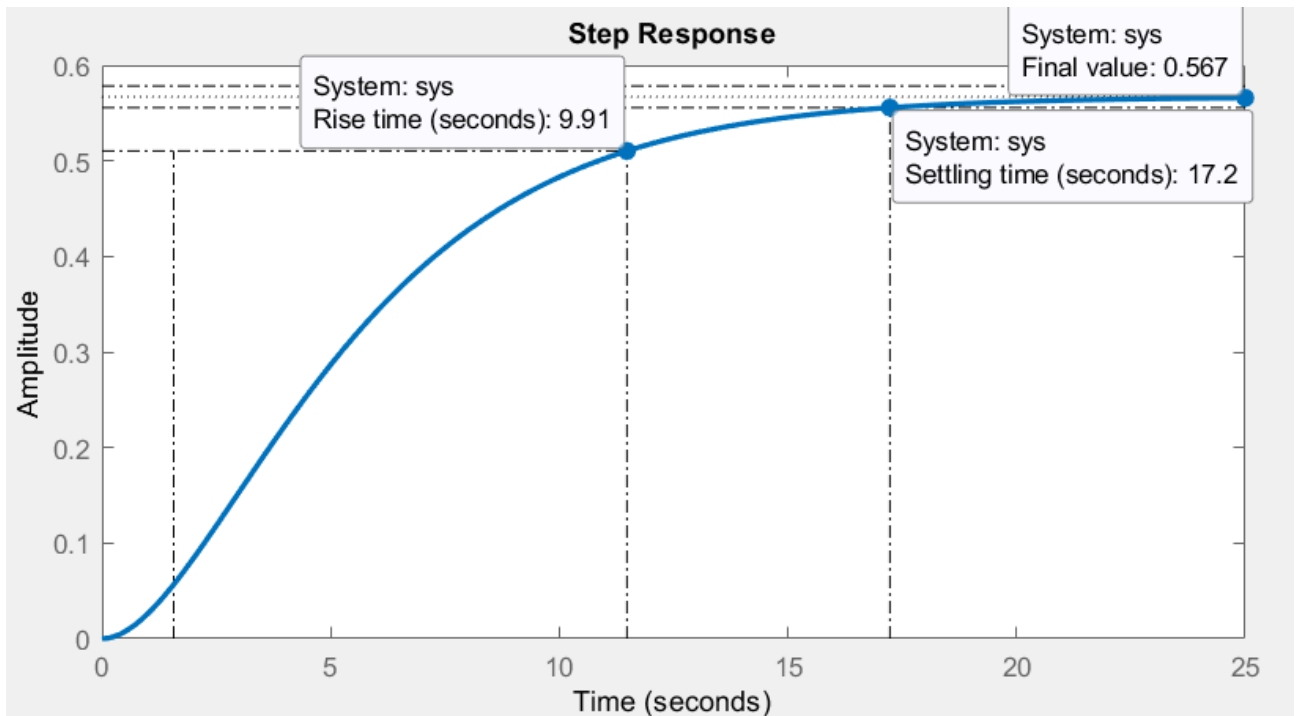


Рисунок 13 – Результат моделирования переходного процесса мельницы–гидроциклон без регулятора

Оценки качества переходного процесса можно увидеть на рисунке 14.

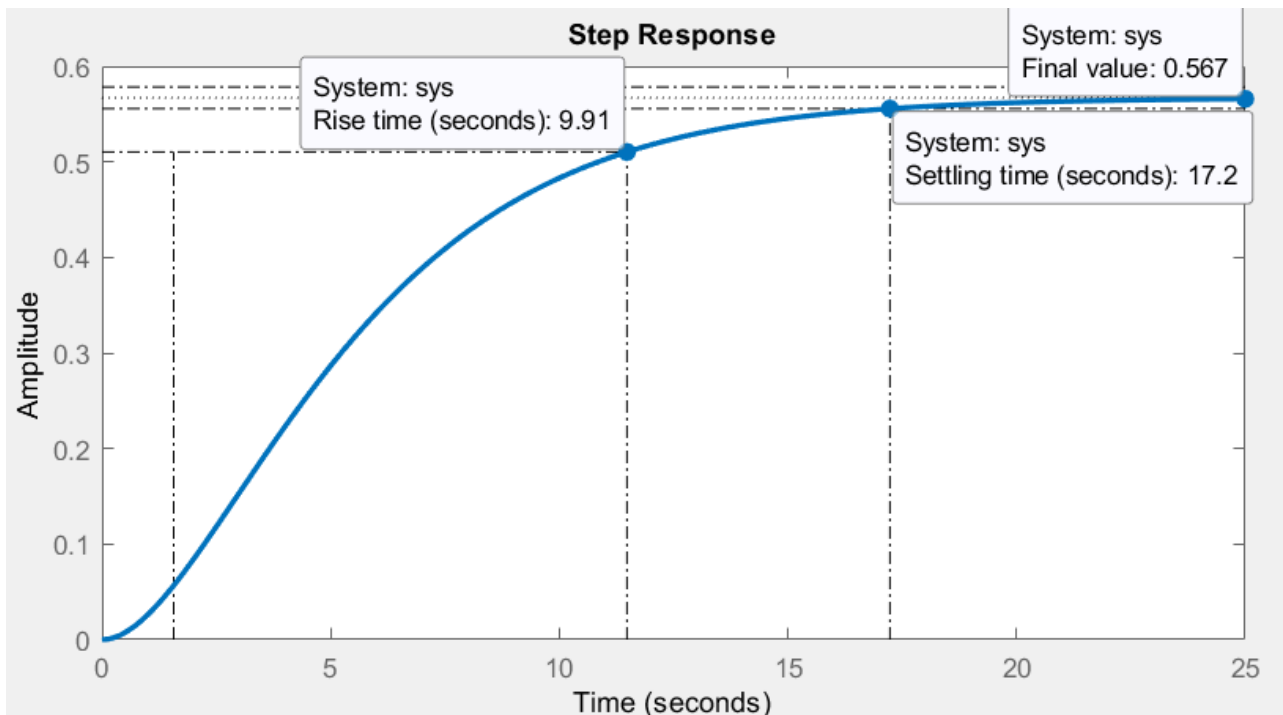


Рисунок 14 –Оценки качества переходного процесса без регулятора

Таблица 3 – Оценки качества системы

№	Оценка качества	Обозначение	Значение
1	Время регулирования (Settling Time)	T_{set}	17.2с
2	Перерегулирование (Overshot)	P_{ov}	0%
3	Установившаяся ошибка (Steady-State Error)	e_{ss}	0.43
4	Время нарастания (Rise Time)	T_R	9.91с
5	Показатель колебательности	μ	0

– Расчёт параметров ПИД-регулятора по методу Циглера – Никольса номер 1.

Для того, чтобы высчитать параметры нужно найти значения T,L,k.C помощью Matlab можно вычислить их параметры как на рисунке 12.

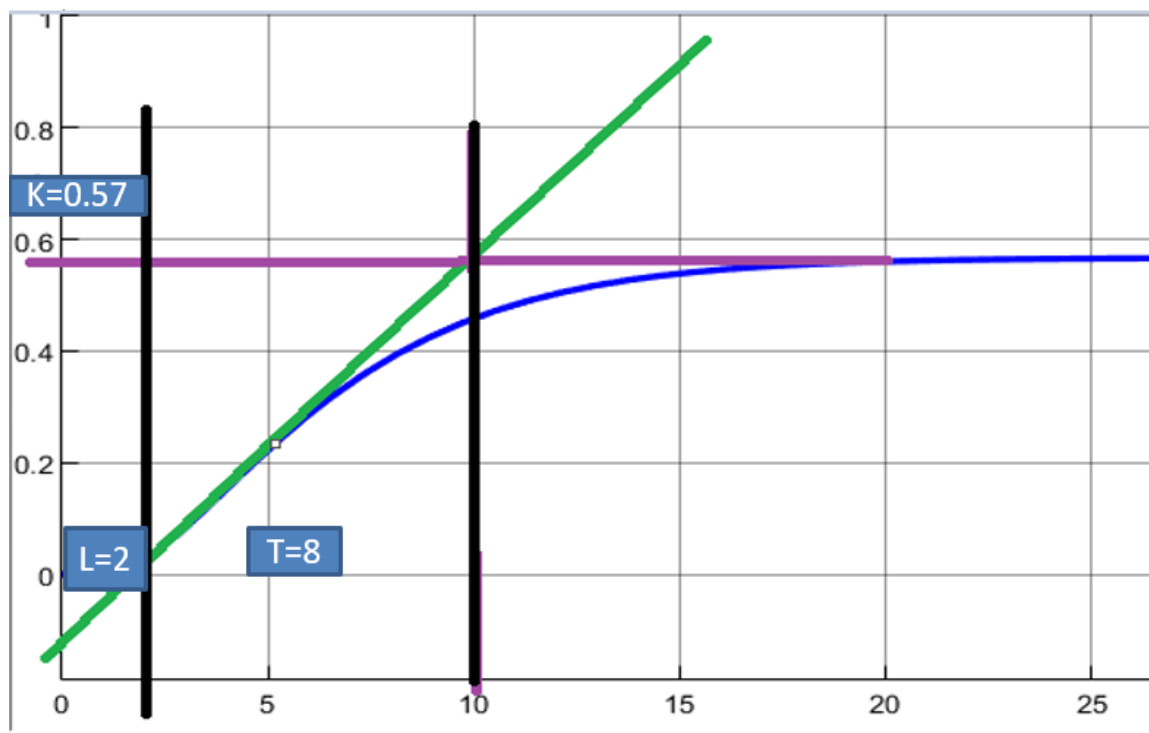


Рисунок 15 – Результат моделирования переходного процесса замкнутой системы $y(t)$.

Параметры равны: $T=8, L=2, k=0.57$. Используя эти параметры подставляем их в формулы показанные на таблице 4

Таблица 4 – расчет параметров PID регулятора по методу Циглера – Никольса номер 1

	K_p	$K_i = \frac{1}{I}$	K_d
P	$\frac{T}{KL}$	0	0
PI	$\frac{0.9T}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$\frac{1.2T}{KL}$	2L	0,5L

Подставив параметры, находим коэффициенты ПИД-регуляторов, как на таблице 5.

Таблица 5 – расчет параметров PID регулятора по методу Циглера – Никольса номер 1

	K_p	$K_i = \frac{1}{I}$	K_d
P	7.017	0	0
PI	6.31	6.66	0
PID	8.42	4	1

Коэффициенты ставим в значения модели и получаем результаты моделирования (рисунок 16 и 17)

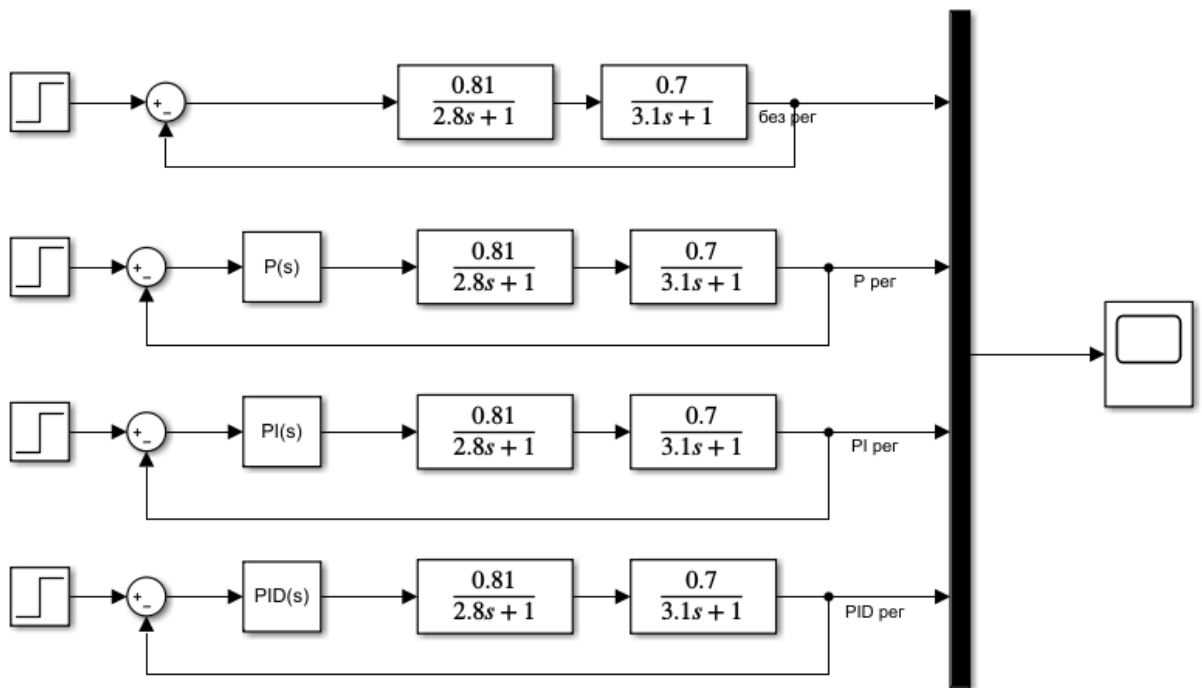


Рисунок 16 – Переходные процессы замкнутой системы с и без регуляторов

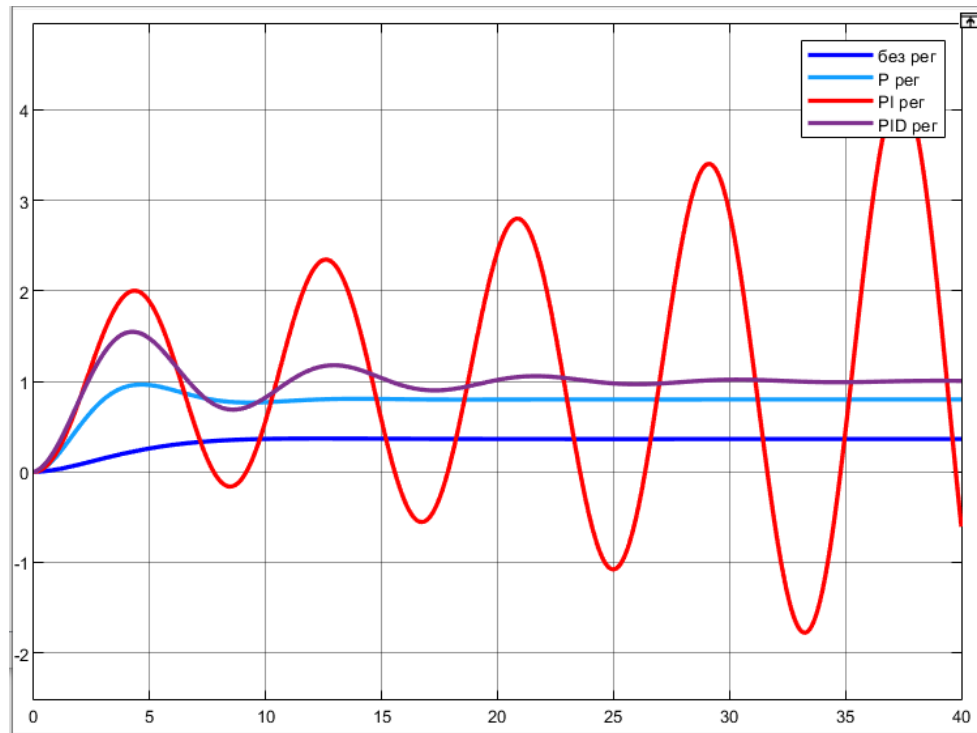


Рисунок 17 – Результаты моделирования метода Циглера – Николься номер 1 без регулятора и с регуляторами

– Расчёт параметров ПИД-регулятора по методу Чина-Хронеса-Ресвика
Взять модель разомкнутого объекта

$$G(s) = \frac{0.567}{8.68s^2 + 5.9s + 1} \quad (2.31)$$

В этом методе так же используем параметры ПИД-регулятора (рисунок 12). Ставим параметры на формулы в таблице 6 и вводим найденные коэффициенты в значения ПИД-регуляторов (рисунок 13).

Таблица 6 – вычисление параметров PID регулятора по методу Чина-Хронеса-Ресвика CHR.

	K_p	$K_i = \frac{1}{I}$	K_d
P	$\frac{0.3T}{KL}$	0	0
PI	$\frac{0.6T}{KL}$	4L	0
PID	$\frac{0.95T}{KL}$	2.4L	0.42L

Найденные коэффициенты ПИД-регуляторов (таблица 7) ставим в Matlab, для анализа результатов моделирования (рисунок 16)

Таблица 7 – вычисление параметров PID регулятора по методу Чина-Хронеса-Ресвика CHR

	K_p	$K_i = \frac{1}{I}$	K_d
P	2,1	0	0
PI	4,21	8	0
PID	6,66	4,8	0.84

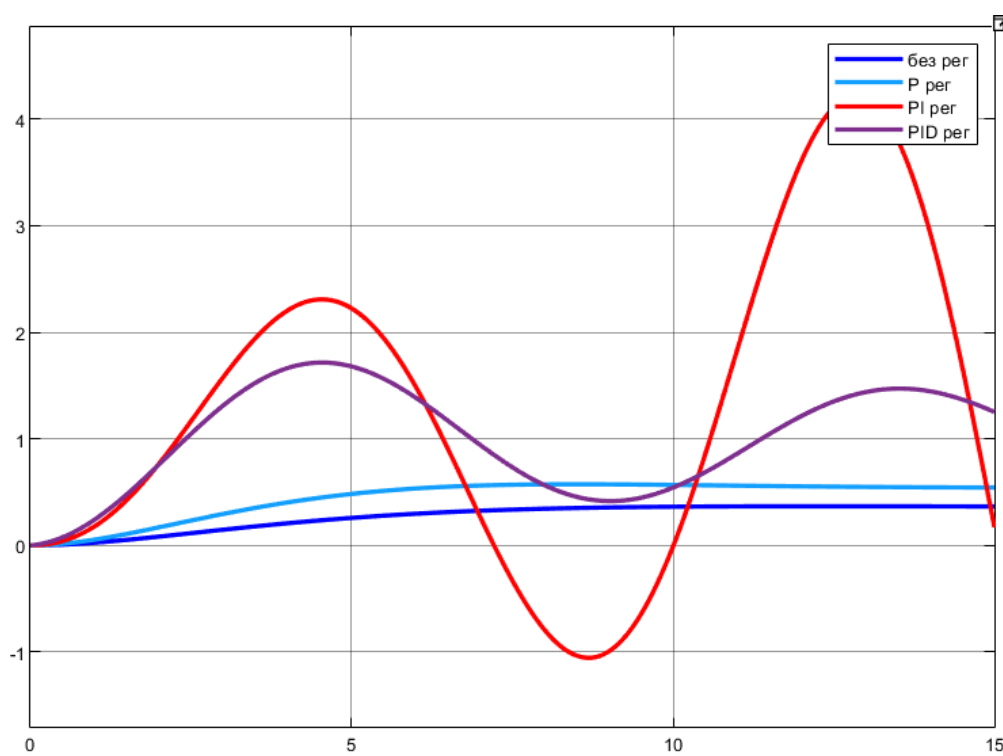


Рисунок 18 – Результаты моделирования метода Чина-Хронеса-Ресвика CHR без регулятора и с регуляторами.

– Результаты моделирования замкнутой системы с PID регуляторами с помощью ручной настройки

На рисунке 19 показан результат моделирования метода ручной настройки.

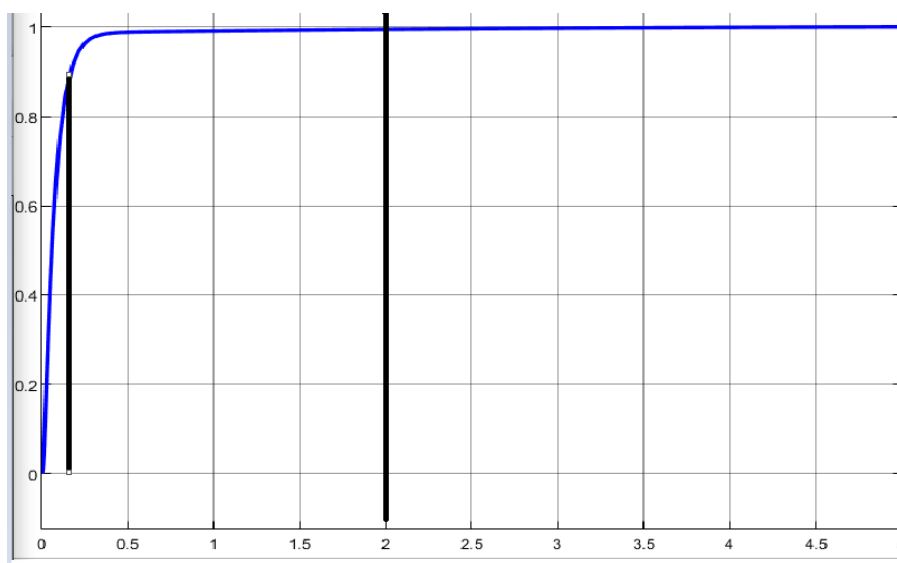


Рисунок 19 – Результаты моделирования метода ручной настройки

Таблица 8 – Оценки качества переходного процесса без регулятора и с регулятором

Оценка качества	Система без регулятора	С регулятором (ручной метод)
Время регулирования (Settling Time)	17.2с	2с
Перерегулирование (Overshot)	0%	0%
Установившаяся ошибка (Steady-State Error)	0.43	0
Время нарастания (Rise Time)	9.91с	0,2с
Показатель колебательности	0	0

Вывод: в ходе проделанной работы с помощью эмпирических методов

настройки регулятора для заданной модели разомкнутой системы методы

Циглера–Никольса №1 и Чина–Хронеса–Ресвика подошли, но показали не совсем удовлетворительные результаты. Метод Циглера–Никольса №2 не подошел. В ручной настройке ПИД–регулятор показал хорошие результаты нежели предыдущие методы. Исходя из данных в таблице 9, видно, что регулятор улучшил время регулирования уменьшив его, время нарастания стало намного меньше, колебательность, перерегулирование остались равны 0, установившаяся ошибка уменьшилась до 0.

2.4 Разработка программного обеспечения

Процесс измельчения руды написан в программе Tia Portal v15 на языках STL и LAD. В программе основными агрегатами процесса является конвейер, шаровая мельница, зумпф и гидроциклон.

Программа состоит из 12 networks и 15 tags (рисунок 20).

Первый network: если сенсор (F1) на конвейере обнаруживает руду то включается первый конвейер (Conveyor).

Второй network: если фотодатчик (F2) на конвейере обнаруживает руду то счетчик (Counter) считает и суммирует количество руды.

Третий network: в случае обнаружения каких-либо проблем предусмотрено аварийная кнопка (sbros) (рисунок 22).

Четвертый network: если количество руды превышает определенное количество то включается шаровая мельница (Ball Mill) и отключается первый конвейер (Conveyor).

Пятый network: одновременно с включением шаровой мельницы (Ball Mill) включается таймер измельчения руды.

Шестой network: после окончания измельчения руды включается зумпф для откачки пульпы и отключается шаровая мельница (рисунок 23).

Седьмой network: одновременно с включением зумпф включается таймер для откачки пульпы.

Восьмой network: по окончанию работы зумпф включается гидроциклон и отключается зумпф.

Девятый network: одновременно с включением гидроциклона включается таймер для классификации руды (рисунок 24).

Десятый network: после окончания работы гидроциклона включается второй конвейер (рисунок 25).

Одинадцатый и двенадцатый network: созданы для анимации в HMI экране (рисунок 26 и 27).

PLC tags								
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Visibl...	
1	F1	Default tag table	Bool	%I124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Conveyor	Default tag table	Bool	%Q124.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Ball Mill	Default tag table	Bool	%Q124.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Zumpf	Default tag table	Bool	%Q124.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Hydrocyclone	Default tag table	Bool	%Q124.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	F2	Default tag table	Bool	%I124.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	F3	Default tag table	Bool	%I124.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Counter	Default tag table	Counter	%C1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Timer	Default tag table	Timer	%T0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Conveyor 2	Default tag table	Bool	%Q124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	sbros	Default tag table	Bool	%I124.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	BOX(1)	Default tag table	Time	%MD11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	BOX(2)	Default tag table	Time	%MD3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Timer 1	Default tag table	Timer	%T1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Timer 2	Default tag table	Timer	%T2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	<Add new>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 20–Таблица тэгов

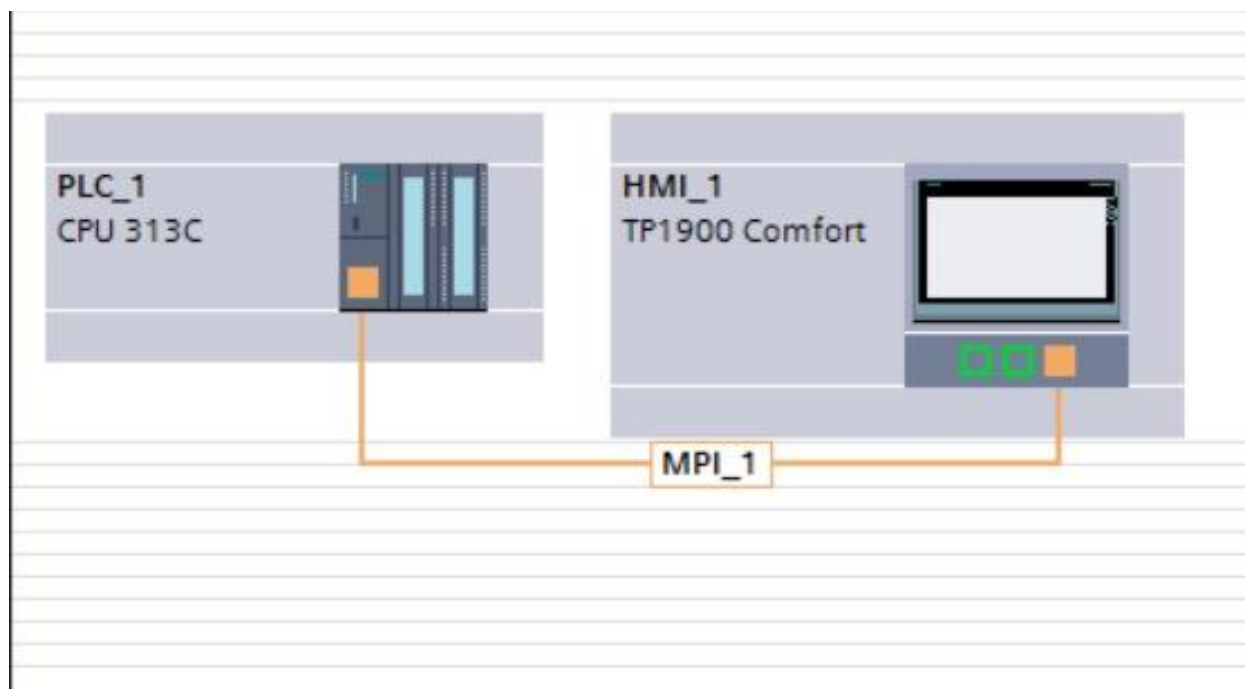


Рисунок 21–Связь между PLC и HMI экрана

Network 1: Первый сенсор запускает первый конвейер				
Comment				
1	A	"F1"		%I124.0
2	=	"Conveyor"		%Q124.1

Network 2: Фотодатчик считает количество поступающей руды				
Comment				
1	A	"F2"		%I124.1
2	CU	"Counter"		%C1

Network 3: Кнопка аварийной остановки или сброса				
Comment				
1	A	"sbros"		%I124.3
2	R	"Counter"		%C1
3	R	"Conveyor"		%Q124.1
4	R	"Conveyor 2"		%Q124.0
5	R	"Ball Mill"		%Q124.2
6	R	"Zumpf"		%Q124.3
7	R	"Hydrocyclone"		%Q124.4

Рисунок 22–Программа на языке STL

Network 4: Запуск мельницы и отключение первого конвейера				
Comment				
1	L	5		5
2	L	"Counter"		%C1
3	<=I			
4	=	"Ball Mill"		%Q124.2
5	R	"Conveyor"		%Q124.1

Network 5: Запуск таймера обработки руды				
Comment				
1	A	"Ball Mill"		%Q124.2
2	FR	"Timer"		%T0
3	L	s5T#10s		s5T#10s
4	SD	"Timer"		%T0

Network 6: Запуск ЗУМПФ после переработки руды				
Comment				
1	A	"Timer"		%T0
2	S	"Zumpf"		%Q124.3
3	R	"Ball Mill"		%Q124.2

Рисунок 23–Программа на языке STL

Network 7: Запуск таймера на работу ЗУМПФ				
Comment				
1	A	"Zumpf"		%Q124.3
2	FR	"Timer 1"		%T1
3	L	s5t#10s		s5t#10s
4	SD	"Timer 1"		%T1

Network 8: Включение гидроциклона				
Comment				
1	A	"Timer 1"		%T1
2	S	"Hydrocyclone"		%Q124.4
3	R	"Zumpf"		%Q124.3

Network 9: Запуск таймера на работу гидроциклона				
Comment				
1	A	"Hydrocyclone"		%Q124.4
2	FR	"Timer 2"		%T2
3	L	s5t#10s		s5t#10s
4	SD	"Timer 2"		%T2

Рисунок 24—Программа на языке STL

Network 10: Запуск второго конвейера				
Comment				
1	A	"Timer 2"		%T2
2	=	"Conveyor 2"		%Q124.0
3	R	"Hydrocyclone"		%Q124.4

Рисунок 25—Программа на языке STL

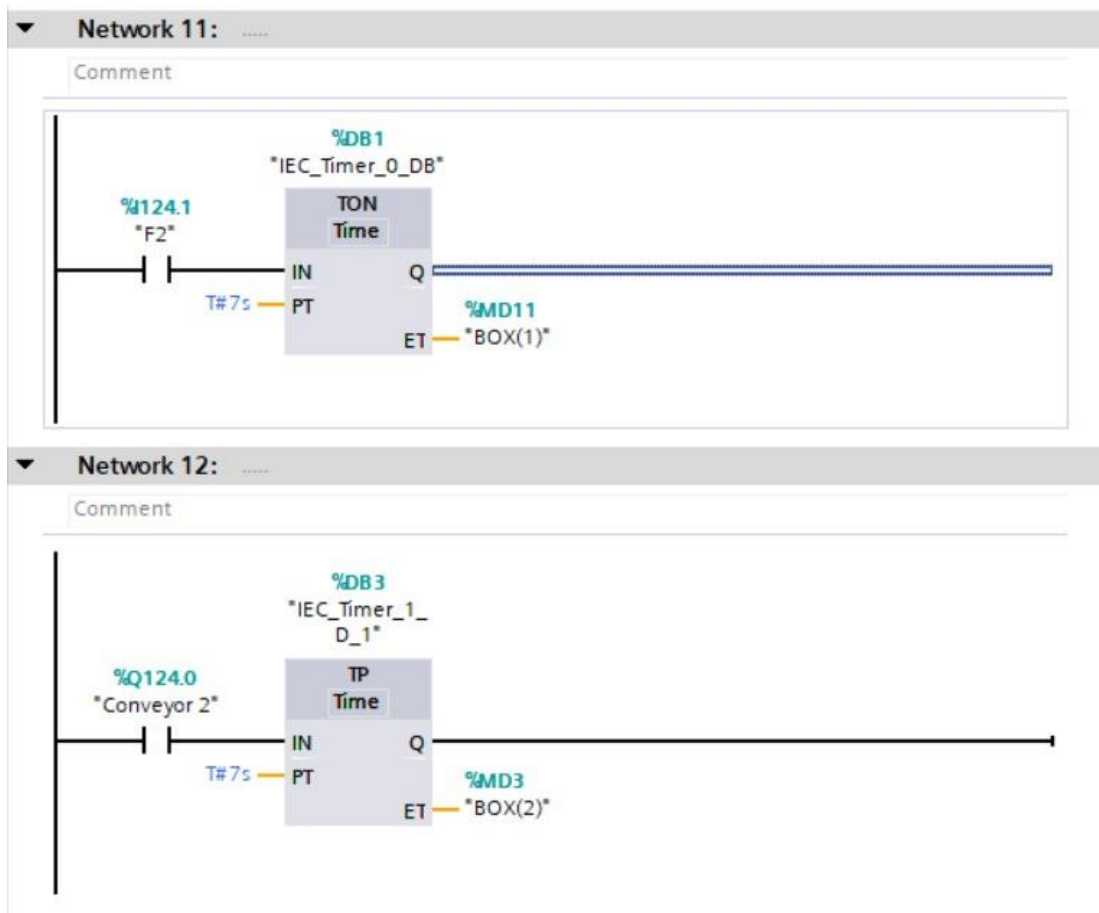


Рисунок 26–Программа на языке LAD

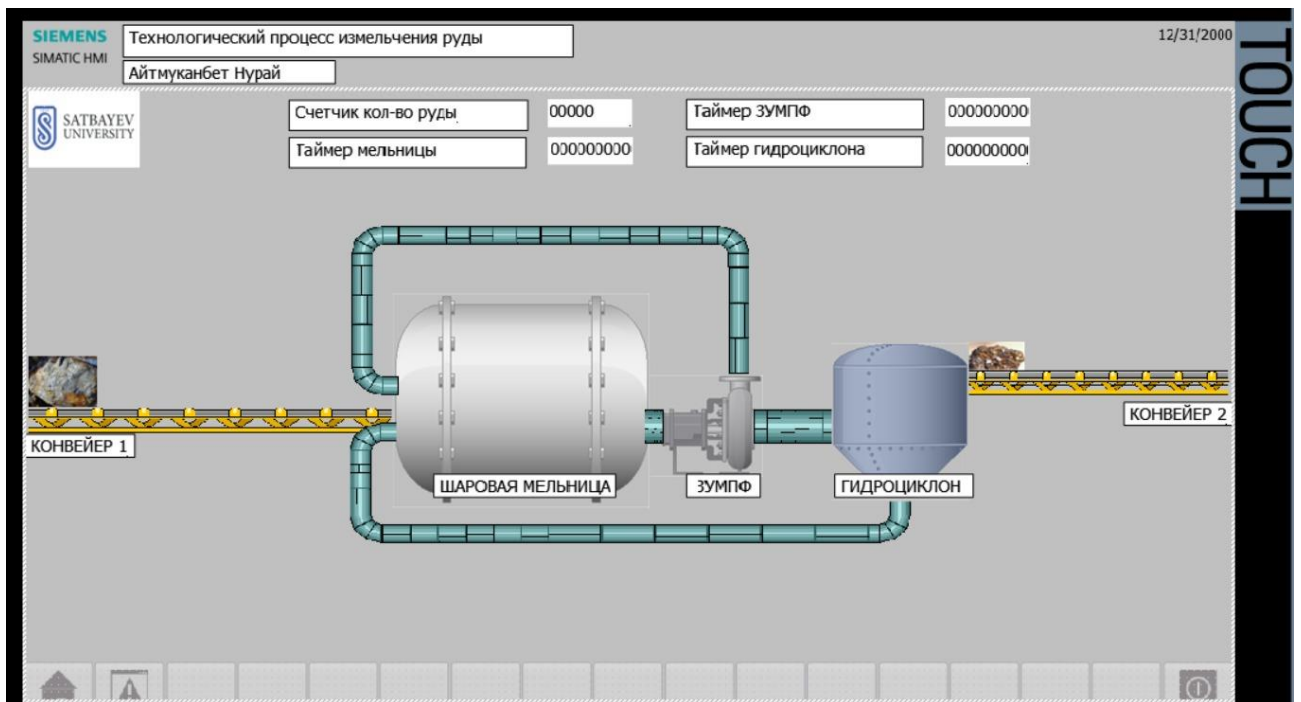


Рисунок 27–Визуализация процесса измельчения медной руды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части дипломной работы был описан и изучен технологический процесс горнорудной промышленности месторождения «Актогай». Тщательно исследован процесс дробления руды, а точнее мельницы измельчения. Была составлена функциональная схема и постановка задачи автоматизации объекта управления.

В специальной части получена математическая модель агрегата измельчения и анализ по полученным результатам моделирования в среде Matlab. Также определены оценки качества полученных результатов после использования регулятора, которые были получены по методам Циглера–Никольса номер 1, Чина–Хонеса–Ресвика и ручным методом.

Для сравнительного анализа был использован метод ручной настройки, ведь он показал более оптимальные результаты в сравнении с другими методами.

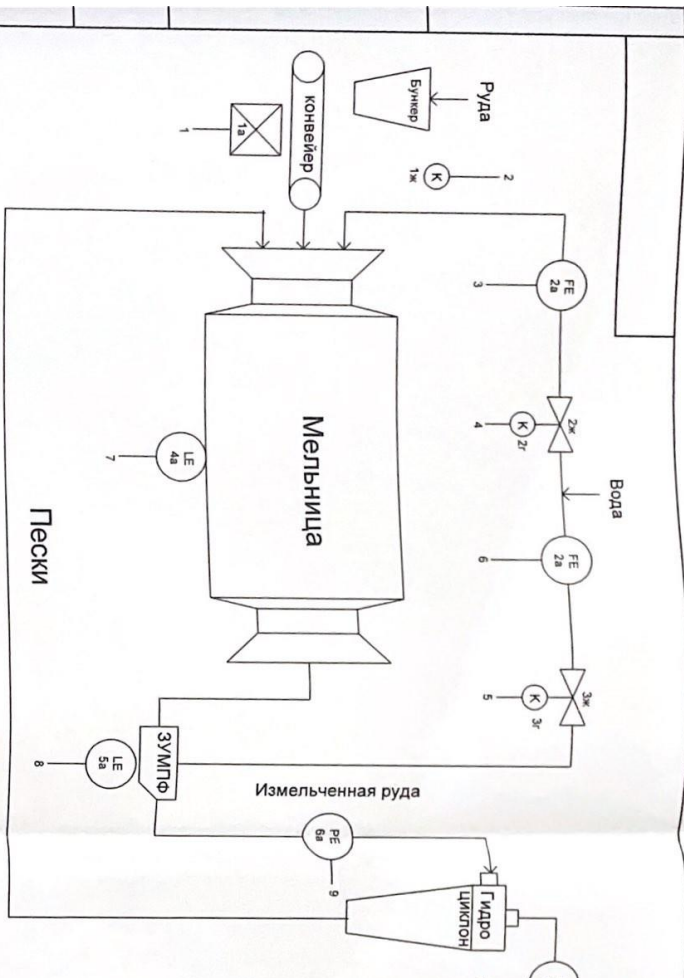
Разработано программное обеспечение в среде TiaPortal в языке STL и LAD показывающее визуально процесс измельчения. Программа состоит из 12 networks.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

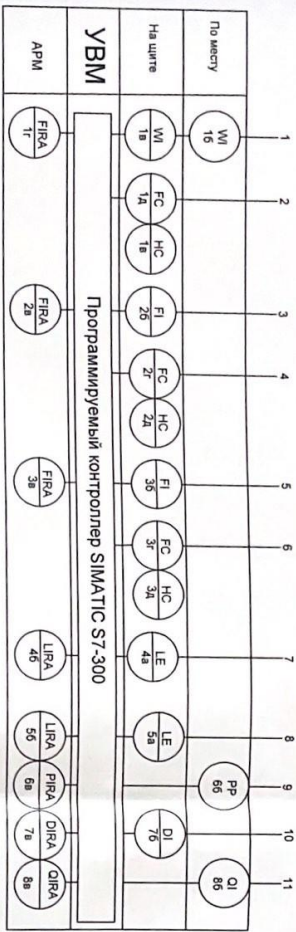
- 1 Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я., Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л., Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых // разработка автоматизации для системы измельчения, изд. «Руда и Металлы» 2012. –С. 227- 252.
- 2 Адамов Э.В. Технология руд цветных металлов, изд. «Металлургия» 2007. – С.82-97.
- 3 Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П., Найденов А.П. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии // Цветные металлы. 2005.-№ 10. – С. 54-59.
- 4 Разумов К.А., Перов В.А., «Проектирование обогатительных фабрик», изд. «Недра», 2002.-С. 40-46
- 5 Улитенко К.Я., Попов В.П. Автоматическая защита барабанных мельниц от перегрузок. Обогащение руд. № 2 - 2004.
- 6 Тогунов М.Б. Шитов Ю.А., Данилкин А.А., Мелик-Гайказов Г.В., Фокин В.А. Интенсификация буровзрывного дробления скальных горных пород. // Горный журнал.2012. №10. – С. 45-49.
- 7 Воронов А.А. Теория управления. – Москва: Наука, 2019. – 495 с.
- 8 Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С-П.: «Профессия», 2004. – 752 с.
- 9 Хан С.Г. Технические средства измерений. Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для студентов всех форм обучения специальности 050702 – Автоматизация и управление. – Алматы: АИЭС, 2010. – 22 с.
- 10 Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы.-СПб.: Питер, 2005.-336 с.: ил.
- 11 Ширяева О.И. Проектирование систем автоматики. Для студентов специальности 6М070200 - Автоматизация п управление, Алматы: КАЗНТУ, 2012. - 118с.
- 12 ГОСТ 21-404.85 ЕСКД Автоматизация технологических процессов.
- 13 Пистун Е., Заграй В., Николин Г. Автоматизация шаровых барабанных мельниц для ТЭС//СТА.-2017.-№3.-С.50-54.

Приложение А

Функциональная схема автоматизации



№ по ФСА	Название	Примечание
1а-1е	Ленточный дозатор Millsdos версия 4	Индикатор 1б входит в его состав.
2а, 3а	Ультразвуковой расходомер воды US 800	Индикатор 2б и 3б входит в его состав.
2б-2ж, 3б-3ж	Колпач КСР-3	
4а	Уровнемер	
5а	Ультразвуковой уровнемер ECHOPEK	
6а	Датчик давления ДМР-231	
6а	Радиолокатор ПИКО-МЛ Пневмоконструкцией преобразователь ПЕЛ-11	Индикатор 6б входит в его состав
7а	Индикатор технологической микро-процессорный ИТМ-20	
1а, 2а, 3а, 4б, 5б, 6а, 7а, 8а	Блок ручного управления с микропроцессором ВРУ-42 Монитор 21 дюйм	



Вид	Лист	№ формул	Лист	Дата
Разработ.	Алехундиен Н.			
Проб.	Смирновская Ж. Ж.			
Т. контр.				
Н. контр.	Жуковская Э. Ж.			
Итд.	Андреева Н. У.			

Процесс
Измельчения руды

Функциональная схема	Лист	Масса	Масштаб

Компьютер Лист 17

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Айтмұқанбет Н.А.

Название: Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности.

Координатор: Жанар Омирбекова

Коэффициент подобия 1: 13.80%

Коэффициент подобия 2: 5.8%

Замена букв: 18

Интервалы: 2

Микропробелы: 43

Белые знаки:

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 13.80 и Коэффициент подобия 2: 5.8. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«31» мая 2022 г.

Дата



Подпись Научного руководителя

**Протокол анализа Отчета подобия
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Айтмуканбет Н.А.

Название: Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности.

Координатор: Жанар Омирбекова.

Коэффициент подобия 1: 13.18%

Коэффициент подобия 2: 5.8%

Замена букв: 18

Интервалы: 2

Микропробелы: 43


Белые знаки: 0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.


Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 13.18% Коэффициент подобия 2: 5.8%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«31» мая 2023 г.
Дата


Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:
Дипломный проект допускается к защите.

«31» мая 2023 г.
Дата


Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломный проект
Айтмұқанбет Нурай Арманқызы
6В07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности»

Задача автоматизации технологического процесса горнорудной промышленности представляет собой управления процессом измельчения руды, в качестве объекта управления является мельница.

Объект управления оборудован системой автоматического управления, который мониторит и регулирует параметры процесса, такие как скорость подачи руды, скорость вращения мельничного барабана и размер выходящего продукта. Данный процесс позволяет оптимизировать технологию измельчения и поддерживать стабильные рабочие условия. Айтмұқанбет Нурай составила спецификацию датчиков и измерительные приборы установлены в мельнице для непрерывного контроля различных параметров, таких как температура, давление, уровень загрузки и другие физические характеристики.

Автоматизация мельницы может существенно повысить безопасность рабочих условий и системы мониторинга позволяют оперативно обнаруживать и реагировать на потенциально опасные ситуации, такие как перегрузка или дефекты оборудования, что способствует снижению риска производственных аварий.


Настоящий дипломный проект не только демонстрирует способность техническую грамотность, но также показывает творческую мысль, инновационный подход и умение работать над сложными задачами. За время проектирования показала умение организовывать и структурировать проект, а также умение коммуницировать и представлять свои идеи, являются важными навыками, которые вы успешно продемонстрировали.

Айтмұқанбет Нурай продемонстрировала высокий уровень профессионализма, самостоятельность и творческий подход в выполнении своей дипломной работе. Его исследование в области разработки интеллектуальной системы диагностики оборудования является актуальным и весьма перспективным в сфере автоматизации и роботизации.

В ходе своей работы Нурай успешно разработала и реализовала синтез оптимального параметра ПИД регулятора разработки программного обеспечения.

Дипломный проект выполнен соответствии к требованиям выпускных работ и рекомендован к защите.

Научный руководитель
PhD, ассоциированный профессор

 Омирбекова Ж. Ж.
«12» 06 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект
(наименование вида работы)

Айтмұқанбет Нурай Арманқызы
6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Тема: «Автоматизация технологического процесса горнорудной
промышленности»

Выполнено:

- а) графическая часть на 13 листах
б) пояснительная записка на 50 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломный проект на тему "Автоматизация технологического процесса горнорудной промышленности" представляет собой значимый вклад в область автоматизации и промышленных процессов. В работе явно сформулированы цель и задачи исследования, а также обоснована актуальность выбранной темы, рассмотрены проблемы и потенциальные выгоды, связанные с автоматизацией технологического процесса в горнорудной промышленности.

Дипломный проект тесно опирается на существующие теоретические и практические исследования в области автоматизации и горнорудной промышленности. В работе представлен обзор литературы и анализ существующих методов и технологий, что позволяет читателю получить полное представление о текущем уровне знаний в данной области.

Методология исследования, примененная в работе, представляет собой системный и комплексный подход. Автор использовал сочетание теоретического анализа, моделирования, экспериментов и сбора данных для оценки эффективности автоматизации технологического процесса в горнорудной промышленности. Методы исследования надежно применены в рамках работы и хорошо обоснованы.

Оценка работы

Результаты исследования, представленные в работе, являются четкими и информативными. Автор предоставил анализ полученных данных, аргументированные выводы и рекомендации для применения автоматизации в горнорудной промышленности. Выводы тесно связаны с поставленными целями и обладают практической значимостью.

Оформление и структура работы выполнены профессионально. Работа имеет логическую последовательность, включая введение, литературный обзор, методологию, результаты, обсуждение и заключение.

Общая оценка работы положительная (90%, -А). А студент Айтмұқанбет Н.А. заслуживает академическую степень бакалавра по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация

Рецензент

Директор ТОО «ACS Engineering»
магистр техники и технологии РЭТ
(должность, уч. степень, звание)

Сихимбаев А.С.

«13»  2023 г.